

**JUNIO
2026**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



JUNIO
2026



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

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

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

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

Portada de la revista: Escalando el Iztaccíhuatl (volcán inactivo en la parte central de México; 5,215 m de altura), después de una tormenta de nieve, para muestreo de nieve y análisis de geoquímica ambiental glaciaria. Al fondo se aprecia el volcán Popocatepetl (activo desde 1994; 5,452 m de altura) con una fumarola que se eleva verticalmente hasta cerca de los 7,000 m y se encuentra con una corriente de chorro atmosférico horizontal hacia el este. Existe una hermosa leyenda del Popocatepetl e Iztaccíhuatl que proviene de la cultura mexicana (azteca) y de los pueblos nahuas prehispánicos del Valle de México y de Tlaxcala. Es una historia de tradición oral que explica el origen de los dos volcanes icónicos, personificando al guerrero tlaxcalteca Popocatepetl y a la princesa Iztaccíhuatl, algo al estilo de Romeo y Julieta mexicanas. Fotografía: **Jonathan Hortelano.**

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

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

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

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

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

Revista de difusión y divulgación geocientífica.

EDITORES



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

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

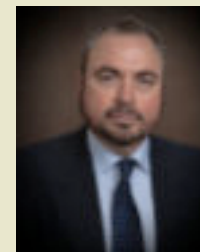
luis.valencia.11@outlook.com
lvalenciaf@ipn.mx



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

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

jhrosenfeld@gmail.com



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

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

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

bartolini.claudio@gmail.com

COLABORADORES



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

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

geodoxo@gmail.com



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

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

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

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

rodriguez.arteaga@gmail.com



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

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



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

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

ensilvacruz@gmail.com



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

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

diegogabriel807@gmail.com



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. 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). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx



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

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

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

tenreyro2015@gmail.com



Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

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

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

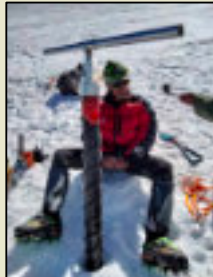
gleon.laura@gmail.com



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

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

r.avalos@astrocamp.mx



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

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



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

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

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

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

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

norma.olvera@atmosfera.unam.mx



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

Estimados Colegas

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

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

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

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

Normas editoriales de la Revista Maya de Geociencias:

Semblanzas: un máximo de 3 cuartillas.

Notas de pioneros en las geociencias: un máximo de 4 cuartillas.

Temas de interés para la comunidad: un máximo de 6 cuartillas.

Notas Geocientíficas: un máximo de 12 cuartillas.

Nota #1: el máximo de cuartillas es incluyendo figuras. Asimismo, recomendamos que la fuente sea Calibri, No. 11, párrafos justificados, e interlineado de 1,0-1,5.

Nota #2: el manuscrito lo pedimos tanto en WORD como en PDF. Las figuras, junto con sus pies de figuras, se agregan dentro del texto, en el orden que aparecerán (i.e., entre párrafos). Los pies de figura pueden tener un tamaño menor, p.ej., No. 10, eso se los dejamos a su consideración.

Editorial norms for the Revista Maya de Geociencias:

Biographical sketches: A maximum of 3 pages.

Geoscience pioneer notes: A maximum of 4 pages.

Community themes of interest: A maximum of 6 pages.

Geoscience notes: A maximum of 12 pages.

Note #1: Page maxima include figures. We also recommend that the font be Calibri size number 11, with justified paragraphs and line spacings of 1.0 or 1.5.

Note #2: We ask that the manuscript be in WORD as a PDF. The figures, together with their captions, should be added within the text in their order of appearance (i.e. between paragraphs). The figure captions may be in smaller size font; e.g. number 10, at your discretion.

Reglamento de la Revista Maya de Geociencias (RMG)

Los siguientes puntos se fundamentan en la experiencia editorial de más de cinco años (más de 60 números mensuales regulares) de la RMG:

- No se aceptarán temas relacionados a la política de ningún país.
- No se permitirá el manejo de temas religiosos, ni se publicarán materiales relacionados a estos, a menos que sea de carácter cultural.
- Se invita a la comunidad a construir temas que respeten en todo momento la equidad de género.
- Queda estrictamente prohibido cualquier tipo de insulto, comentarios soeces o ataques a individuos, asociaciones, instituciones, gobiernos, o cualquier clase de grupo.
- Es importante aclarar, como se menciona al inicio de cada número de la RMG que, las opiniones científicas, comerciales, culturales, sociales, etc., no son responsabilidad, ni son compartidas o rechazadas, por los editores y colaboradores de la RMG.



New AAPG Executive Committee Officers Announced

Linda R. Sternbach, a Houston-based geoscientist, currently the Vice President of Star Creek Energy who has been active in Association leadership and activities over the past two decades, has been voted president-elect of AAPG for the 2026-27 term.

She is one of three new officers chosen in this year's AAPG election, which closed on May 15.



Linda R. Sternbach
President-Elect (2026-27)

Sternbach will serve on the new Executive Committee as president-elect for the coming term and will then serve as the Association's president in 2027-28.

Also elected to the incoming Executive Committee were:

**Vice President-Sections
(2026-28)**



Julie Bloxson
Stephen F. Austin State University
Nacogdoches, Texas

**Treasurer
(2026-28)**



Steven H. Shirley
Independent
Bandera, Texas

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,

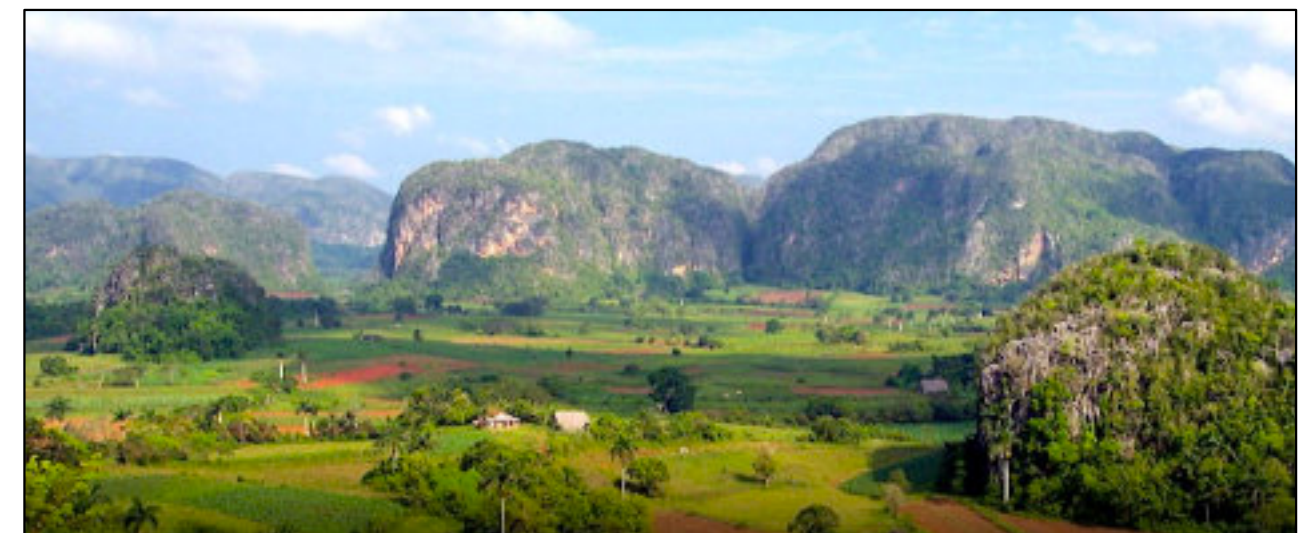
Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras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

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



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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



CARTA DE AGRADECIMIENTO

Estimado Dr. Bernardo García Amador:

Reciba un cordial y afectuoso saludo por parte del equipo editorial de la *Revista Maya de Geociencias*.

Por medio de la presente, deseamos expresarle nuestro más sincero agradecimiento por su invaluable participación, compromiso y dedicación durante más de cinco años como editor y fundador de nuestra revista. Su colaboración fue fundamental para consolidar este proyecto de difusión geocientífica, el cual nació con el objetivo de brindar un espacio académico y de divulgación para profesionistas, investigadores y estudiantes de las Ciencias de la Tierra.

A lo largo de este tiempo, su profesionalismo, experiencia académica y calidad humana contribuyeron significativamente al crecimiento, fortalecimiento y prestigio de la *Revista Maya de Geociencias*, permitiendo que esta publicación alcanzara una proyección nacional e internacional dentro de nuestra comunidad geocientífica. Asimismo, reconocemos ampliamente su destacada trayectoria académica y científica dentro del Instituto de Geofísica de la UNAM, donde ha desarrollado importantes líneas de investigación relacionadas con paleomagnetismo, magnetismo de rocas, tectónica, vulcanología y análisis de cuencas sedimentarias.

Entendemos que las nuevas responsabilidades y compromisos profesionales que actualmente desempeña requieren de toda su atención y dedicación. Sin embargo, queremos dejar constancia de que su legado dentro de la revista permanecerá siempre como una parte esencial de su historia y desarrollo.

Le enviamos un fuerte abrazo y nuestros mejores deseos en esta nueva etapa profesional y personal, seguros de que continuará cosechando éxitos y contribuyendo de manera sobresaliente al avance de las geociencias.

Con profunda gratitud y aprecio,

Equipo Editorial

Revista Maya de Geociencias

Semblanzas.....	16
Obituarios.....	28
Miscelanea de imágenes.....	32
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	35
Los libros recomendados.....	44

Temas de interés

Sostenibilidad en la transición energética. África: recursos, energía y vulnerabilidad. Parte II.

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

Las energías renovables y su integración en vehículos eléctricos

Daniel Arturo Maciel Fuentes.....	52
-----------------------------------	----

Advances in Nuclear Fission

Claudio Bartolini.....	60
------------------------	----

El petróleo precolombino. Los arahuacos de la cuenca del Caribe. I parte.

Rafael Tenreyro Perez.....	66
----------------------------	----

Geología y bellas artes: La tierra como fuente de inspiración cultural y creativa: PARTE 2. Música, Danza, Literatura y Cine

Jesus S. Porras M.....	69
------------------------	----

Theophrastus (371 - 287 a. c.): el «padre fundador de la mineralogía»
(θεοφραστου περι λιθων)

Jhonny E. Casas.....	85
----------------------	----

Análisis histórico sobre la Laguna de Catia, Caracas

José Antonio Rodríguez Arteaga.....	94
-------------------------------------	----

Béisbol, exploración petrolera y probabilidad de éxito

Luis R. Porras M. y Jesús S. Porras M.....	101
--	-----

Fotografías.....112

Notas Geocientíficas

La perspectiva de un consultor de exploración petrolera sobre la inteligencia artificial en geología del petróleo: entre el miedo, la fascinación y el valor real del geólogo especialista
Ramón López Jiménez.....122

Situación geológica y potencial de los recursos petroleros No Convencionales en México
Luis Ángel Valencia Flores.....128

De mis memorias: Fascinación por los Pliegues
Manuel A. Iturralde-Vinent.....138

Ignimbritas: Formación, Características y Significado Geológico
Maria Fernanda Cerca Ruiz, et al.....144

Yacimientos petrolíferos de basamento: ¿.....hasta donde perforar?
Jesús S. Porras M.....150

Controles geologicos y usos industriales de los minerales nometalicos del macizo metamórfico Escambray en Cuba central
Humberto Álvarez-Sánchez y Luís Bernal Rodríguez.....165

De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental
Rogelio Ramos Aracen.....178

Misceláneos

Museos de historia natural.....185

GeoLatinas - GeoSeminarios.....186

Venezuelan American Petroleum Association.....187

Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.....188

Seminario Institucional de geofísica - UNAM.....189

Descubrimientos de paleontología.....191

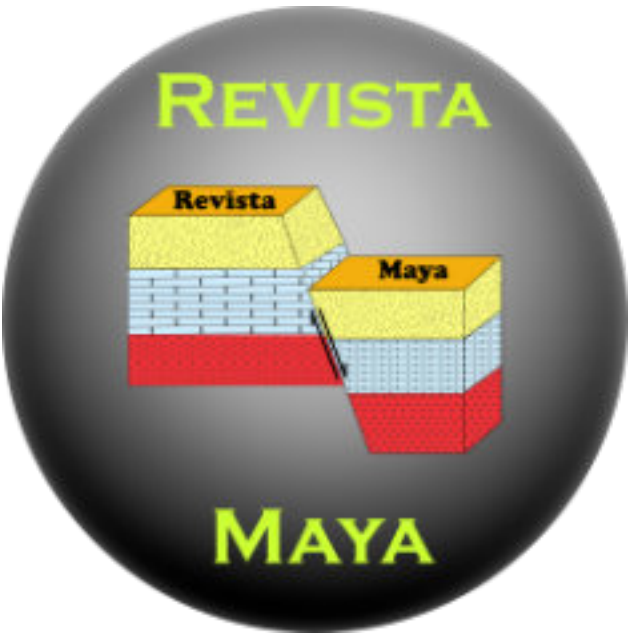
Caverna del Arte.....196

Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....209

La casa de las tierras raras.....210

Samaria Gorge, Creta Shale.....211

Asociaciones geológicas hermanas.....212



Henry Clifton Sorby: 1826 – 1908

**On the 200th birthday of the father of the
microscopical study of rocks,
Henry Clifton Sorby (1826-1908)**

David T. King, Jr.

**Geosciences, Auburn University, Auburn, Alabama
36849 USA**

By all accounts, Henry Clifton Sorby (1826-1908) was the first person to make a petrographic thin section of rock and as he began this new field of scientific study of rock microscopy, he advocated for *“the application of quantitative methods to the study of the structure and history of rocks”* (Sorby, 1879). This changed the study of rocks going forward over the ensuing 175 years.

Here is what Sorby wrote about his new technique with regard to a clastic sedimentary rock: *“If a thin slice of the stone be prepared, not much thicker than 1/1000th of an inch, and examined with a microscope, the manner in which the grains of sand ... are imbedded in the impure calcareous deposit is well seen.”* In this quote, from his remarkable 1851 paper ‘On the microscopical structure of the calcareous grit of the Yorkshire coast’ (published in the *Quarterly Journal of the Geological Society*), Henry Clifton Sorby explains in just one sentence his thin-section method and what can be seen with a petrographic thin section using a microscope. Figure 1 shows a portrait of Dr. Sorby (approximately during middle age) with one of his petrographic microscopes, and Figure 2 shows a thin section made by Sorby during 1850 for the 1851 paper noted above.



Figure 1. Henry Clifton Sorby (middle age), seated at a microscope in his Sheffield laboratory. Image kindly provided by Alistair McLean, Sheffield Museums Trust (UK). Used with permission.

Henry Clifton Sorby (1826-1908) was the only descendant of a relatively wealthy Sheffield metal tool manufacturer. Just as he reached the age of majority, Sorby lost his father (Judd, 1908), and thus his father left him a large sum of money and substantial property. Unlike others his age who might have rapidly spent up his new-found wealth, Sorby invested the money in setting up a laboratory for geological research, including microscopy and the equipment needed for preparation of thin sections of rock.

Sorby, who held an LL.D. (Legum Doctor of Laws) by age 24, devoted his entire life to scientific pursuits, never marrying and keeping seemingly entirely focused on various studies of rocks, metals (e.g., Sorby, 1882), meteorites, other hard substances (bone, teeth, etc.), and agricultural chemicals (see the reviews of his life’s work and bibliography in the papers by Humphries, 1965; 1973).

Sorby published more than 200 scientific papers, and rose to the prestigious position of President of the Geological Society of London. His most notable papers regarding use of the thin-section microscopy were published mainly by the Geological Society of London (Sorby, 1851; 1853; 1877; 1879; 1880; 1898; and 1908). Dr. Sorby was a winner of the Society’s coveted Wollaston Medal. It is safe to say that he was a true genius of his time.

Sorby has been widely recognized as the father of sedimentary petrology, but also to his credit, he helped unravel the nature of metamorphic foliation by studying slates in thin section (Sorby, 1856). His famous quote about this investigation, derided at the time, was *“Mountains must be studied with microscopes.”* Sorby was very good with mineral identification in thin section and description of microscopic textures in rocks, including igneous (e.g., Sorby, 1863), sedimentary, and metamorphic (e.g., Sorby, 1856) rock types. His microscopes were equipped with polarizers and were simple, early versions of the petrographic microscopes we know today.

Sorby wrote on all manner of sedimentary rock types, including carbonates, clastics, cherts, chalks, and ironstones, in numerous papers that spanned the period 1846 to 1908. Two noteworthy 1970s publications reproduce many of Sorby’s key papers, and the reader is referred to these monographs to appreciate the wide range of Sorby’s investigations. The titles are *Sorby on Sedimentology* (Summerson, 1976) and *Sorby on Geology* (Summerson, 1978). To his credit also, Sorby pioneered the study of paleocurrents in sedimentary rocks. A

complete list of Sorby’s publications can be found in the paper by Humphries (1965).

Henry Clifton Sorby is much revered in the field of sedimentary petrology, for example, the eminent University of Texas sedimentary geologist, Robert L. Folk, once said of Sorby’s papers: *“Reading Sorby is like reading the Bible”* and refers to Sorby in several of his papers. Indeed, much of Sorby’s writings, as viewed by sedimentary petrologists today, describe, albeit in an 19th century style, exactly the steps needed to understand the grain size, texture, and cementation history of any sedimentary rock.

Here is an example of a description and interpretation of grain-size sorting in thin section (from Sorby’s 1851 paper mentioned above): *“This coarse matter consisted, in nearly equal proportions, of the reniform ... bodies, and sand, whose particles varied in size from 1/100th to 1/2000th of an inch, the average being 1/200th, of which the great bulk was composed. The fine matter contained some few grains 1/700th to 1/1000th of an inch, and all sizes down to 1/10000th or less, but the bulk was made up of those of from 1/10000th to 1/20000th of an inch. Hence, it is clear that this deposit was not subjected too much washing at the time of its deposition, or else it would not have been composed of particles of such very varying magnitude.”*

And, here is an example description of his point-counting method employed using a petrographic thin section (also from Sorby’s 1851 paper mentioned above): *“I counted in the space of 1/280th of a square inch, in an average portion of a thin slice, no less than forty of these [reniform] bodies, and therefore on a square inch there would be 11,200; and since they are on an average 1/200th of an inch in diameter, there would be at this rate about two and a quarter millions in a cubic inch.”* It should be noted that the “reniform (kidney-shaped) bodies” that Sorby refers to in this and other of his papers on the Jurassic calcareous grits of Yorkshire are in fact microfossils. Figure 3 shows a modern photomicrograph of part of the petrographic thin

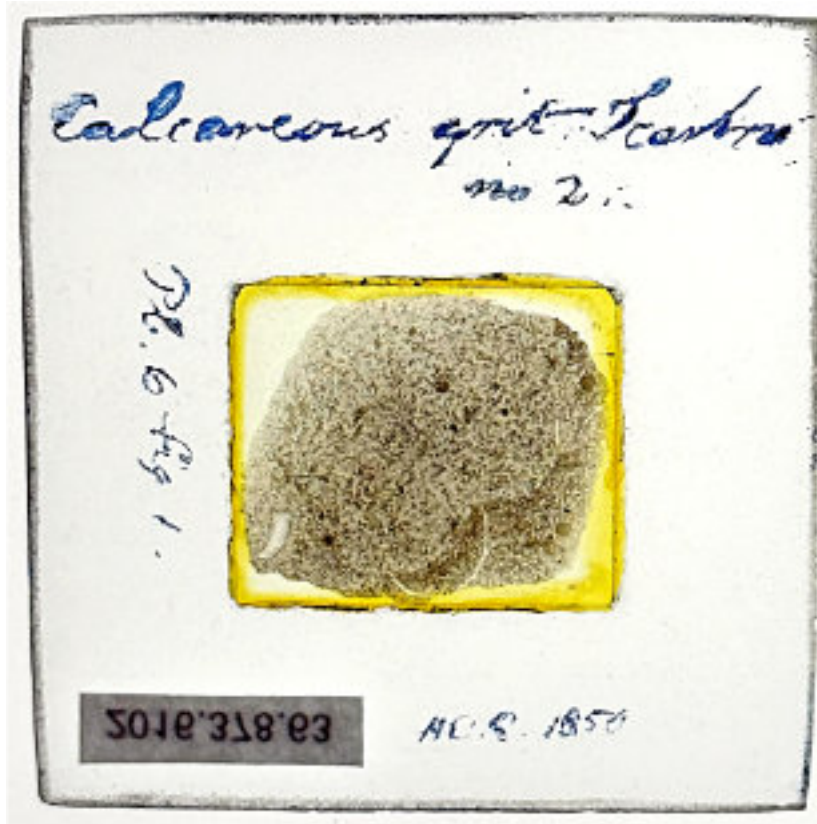


Figure 2. Photograph of thin section 'Calcareous grit Scarboro(ugh) no. 2.' This thin section was made personally by Henry Clifton Sorby in 1850 for his 1851 paper, and is one of the first thin sections of rock ever made, and likely the first thin section of a clastic sedimentary rock ever made. Note that the thin section was initialed and dated by Sorby (H.C.S. 1850). This thin section resides today is in the collections of the Sheffield Museums; image kindly provided by Alistair McLean, Sheffield Museums Trust. Used with permission.

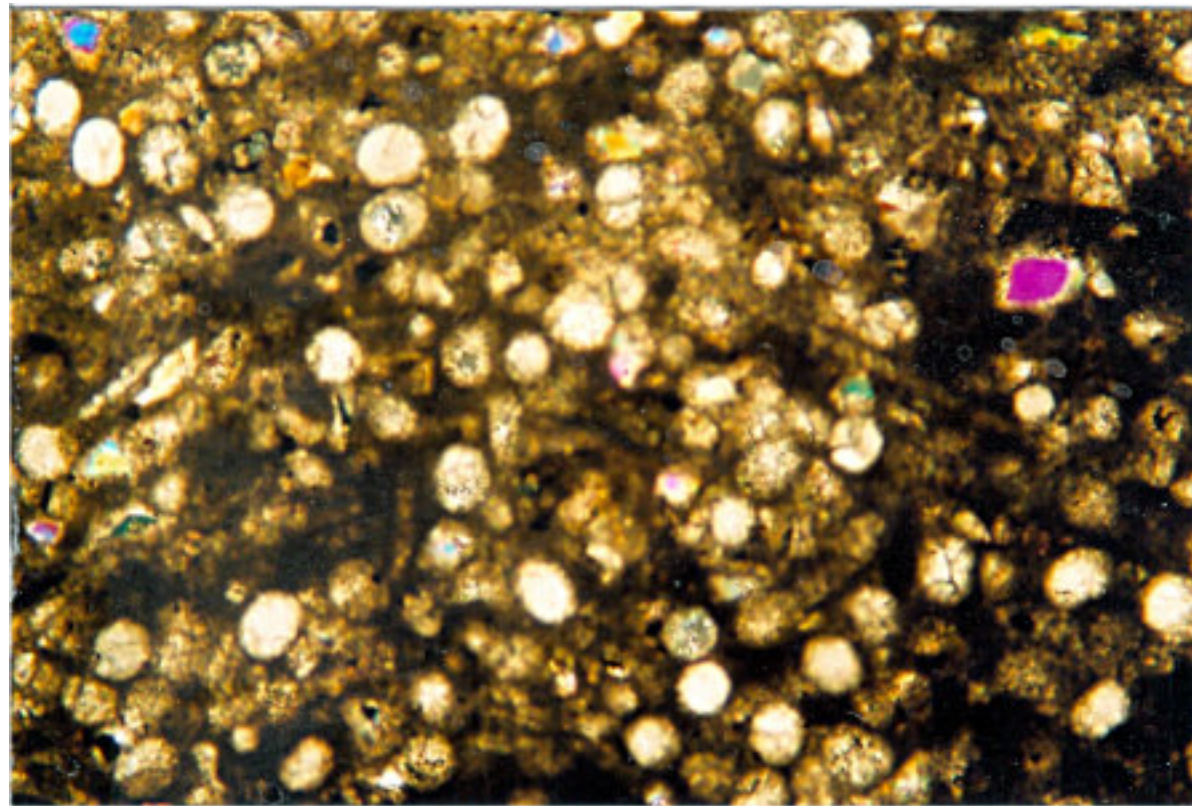


Figure 3. Thin section photomicrograph of sample 'Calcareous grit Scarboro(ugh) no. 2.' This photomicrograph was made using plane-polarized light, and represents an area within the thin section shown in Figure 1. Width of field of view is estimated to be 2500 microns or 2.5 mm. The numerous calcareous microfossils in this sample were referred to as "reniform objects" by Sorby (1851), but later he called them Renulinae (Sorby, 1879). Image kindly provided by Alistair McLean, Sheffield Museums Trust (UK). Used with permission.

section shown in Figure 2. The "reniform bodies" therein are numerous round particles (calcareous microfossils), and the constituent quartz grains are more angular. Sorby noted this writing in his 1851 paper that *"The [reniform bodies] are much too regular in their form, the most regularly formed grains of sand being somewhat angular."*

Ever since Henry Clifton Sorby began to make and write about petrographic thin sections, petrologists studying sedimentary rocks have possessed a method of gaining insight into the natural history of ancient and modern sediments. To see how much of the Sorbian method is included in modern sedimentology, compare Sorby's petrographic methods to those described in the widely used textbooks, such as the one by Folk (1980), with regard to sedimentary composition and texture. Sorby's groundbreaking method of making thin sections of rock has enlightened successive generations of geologists about a much better and more insightful way of making observations regarding sedimentary sorting (*"washing"* as Sorby (1851) called it), clastic grain size, and detrital mineral composition, the three key elements in modern sedimentological interpretation of the natural history of any clastic rock.

Acknowledgements

The author thanks Alistair McLean, Curator of Natural Science at the Sheffield Museums Trust, Sheffield, UK, for his assistance in obtaining images used in Figures 1 - 3, and permission to present them herein.

References

- Folk, R. L., 1980, Petrology of sedimentary rocks: Austin, Texas, Hemphill Publishing Company, 184p.
- Humphries, D. W., 1965, A bibliography of publications of H. C. Sorby: The Sorby Centennial Symposium on the History of Metallurgy, Chapter 3, p. 43-58, in Smith, C. S. (ed.), Gordon and Breach, New York: Metallurgical Society Conferences, v. 27, 580p.

Humphries, D. W., 1973, The contribution of Henry Clifton Sorby (1826-1908) to mineral science and technology: Mineralia Slovaca, v. 5, no. 4, p. 593-601.

Judd, J. W., 1908, Henry Clifton Sorby, and the birth of microscopical petrology: Geological Magazine, v. 5, p. 193-204.

Sorby, H. C., 1851, On the microscopical structure of the Calcareous Grit of the Yorkshire coast: Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 3, p. 1-6.

Sorby, H. C., 1853, On the microscopical structure of some British Tertiary and post-Tertiary freshwater marls and limestones: Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 9, p. 344-346.

Sorby, H. C., 1856, On the theory of the origin of slaty cleavage: The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, v. 12, p. 127-129.

Sorby, H. C., 1863, On the microscopical structure of Mount Sorrel (Grooby) syenite – artificially fused and slowly cooled: Proceedings of the West Yorkshire Geological Society, v. 4, p. 301-304.

Sorby, H. C., 1877, The application of the microscope to geology, etc. – Anniversary address of the President, Monograph of the Microscope Journal, v. 17, p. 113-136.

Sorby, H. C., 1879, On the structure and origin of limestone – Presidential address: Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 35, p. 56-95.

Sorby, H. C., c. 1880, On the structure and origin of non-calcareous stratified rocks – Presidential address: Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 36, p. 42-92.

Sorby, H. C., 1882, On the microscopical structure of iron and steel: Journal of the Iron and Steel Institute, v. 34, p. 702-703.

Sorby, H. C., 1898, Fifty years of scientific research: Sheffield Literary and Philosophical Society Reports, p. 13-21.

Sorby, H. C., 1908, On the application of quantitative methods to the study of the structure and history of rocks: Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 64, p. 171-233.

Summerson, C. H. (ed.), 1976, Sorby on sedimentology, a collection of papers from 1851-1908 by Henry Clifton Sorby:

University of Miami, Comparative Sedimentology Laboratory, Geological Milestones no. 1, 225p.

Summerson, C. H. (ed.), 1978, Sorby on geology, a collection of papers from 1851-1908 by Henry Clifton Sorby: University of Miami, Comparative Sedimentology Laboratory, Geological Milestones no. 3, 241p.



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

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

Katia Krafft: 1942 – 1991

Hay mujeres que nacen para caminar sobre la tierra, y hay otras que nacen para caminar sobre el fuego.

Katia Krafft fue una de ellas. Su vida entera fue un acto de amor, un amor inmenso, indomable, casi volcánico. Mientras otros veían destrucción, ella veía movimiento, respiración, vida. Donde otros sentían miedo, ella encontraba belleza.

Los volcanes no fueron su obsesión, fueron su hogar, su lenguaje y su destino.

Katia no solo estudió volcanes; los escuchó. Se acercó a ellos como quien se acerca a un ser vivo que late, que ruge, que sueña. Los miró tan de cerca que la lava se volvió un espejo, y el humo, un abrazo cálido.

Y aunque su muerte fue trágica, no fue absurda. Ella murió donde siempre quiso estar, en el borde exacto donde la Tierra recuerda que está viva.

Al escribir esta semblanza me quedé pensando que no fue la fatalidad la que la llamó, sino Vulcano mismo, ese dios antiguo del fuego y la fragua, que, al verla caminar entre cráteres con esa mezcla de valentía y ternura, se enamoró de ella.

Se enamoró de su coraje, de su mirada luminosa, de su manera de convertir el peligro en conocimiento y el miedo en belleza. Y un día, simplemente, la llamó. La llamó para que dejara de observar el fuego desde afuera y se uniera a él para siempre; para que su espíritu ardiente se fundiera con la lava eterna. Para que su nombre quedara escrito no en piedra, sino en magma.

Katia no desapareció. Katia volvió al corazón de la Tierra, al lugar donde siempre perteneció.

Y desde entonces, cada vez que un volcán ilumina el cielo, parece que lo hiciera para recordarnos que ella sigue ahí,



sonriendo, desafiando, amando el fuego con la misma intensidad con la que vivió.

Espero les guste esta semblanza para recordar a una mujer de fuego y fuerza.

Katia Krafft nació el 17 de abril de 1942 en Soultz-Haut-Rhin, en la región francesa de Alsacia, hija de un orfebre y una maestra que fomentaron en ella la curiosidad y la sensibilidad por el mundo natural. Desde niña quedó profundamente impresionada por las imágenes de volcanes que veía en libros y documentales; aquellas escenas de fuego, humo y movimiento geológico despertaron una fascinación que marcaría el rumbo de su vida.

Tras terminar sus estudios secundarios en 1957, ingresó a la Universidad de Estrasburgo, donde estudió física y geoquímica. Allí conoció a Maurice Krafft, quien compartía su pasión por los volcanes. Su conexión fue inmediata:

ambos estaban convencidos de que la mejor manera de comprender un volcán era acercarse a él tanto como fuera posible. Esa convicción los llevó a formar una de las duplas científicas más influyentes del siglo XX.

Su primer contacto directo con un volcán ocurrió durante una visita al Stromboli, en Italia, cuando aún era estudiante. Katia tomó muestras de gases y rocas, registró datos y observó la actividad eruptiva con una mezcla de rigor científico y valentía que pronto se convertiría en su sello distintivo. Con el tiempo reunió recursos para regresar al Stromboli, donde fotografió su actividad casi continua y perfeccionó su estilo visual: imágenes cercanas, precisas y estéticamente poderosas que más tarde se volverían icónicas.

A medida que sus fotografías comenzaron a publicarse en revistas y periódicos, Katia utilizó esos ingresos para financiar expediciones a volcanes de Italia, Islandia, Japón, Indonesia, Colombia y otros países. Su trabajo no solo documentaba erupciones, sino que también transformaba la manera en que el público entendía la dinámica volcánica. A lo largo de su carrera llegó a capturar más de 300,000 fotografías y cientos de horas de video, un archivo monumental que hoy constituye una referencia histórica y científica.

En 1968, fue invitada a Islandia para estudiar la inesperada reactivación del volcán Kverkfjöll, dormido durante miles de años. Katia se acercó al borde mismo del cráter para obtener datos directos, demostrando una valentía que consolidó su reputación internacional. Durante las décadas de 1970 y 1980, ella y Maurice se dedicaron a documentar volcanes en actividad continua: mientras él filmaba, ella fotografiaba, creando un registro visual sin precedentes que permitió comprender mejor los procesos eruptivos, los efectos de la ceniza, la lluvia ácida y la formación de nuevos conos volcánicos.

Su trabajo implicaba riesgos extremos. Katia tomaba muestras a pocos metros de flujos de lava, medía gases tóxicos y analizaba depósitos recientes, protegida

únicamente por un casco y un traje resistente al calor. En una ocasión, incluso navegó en una pequeña canoa sobre un lago ácido para obtener mediciones más precisas. Esa audacia científica les valió el apodo de “Los Diablos de los Volcanes”, pues solían ser los primeros en llegar a un volcán activo.

Además de su labor de campo, Katia publicó varios libros como *Volcans et tremblements de terre* y *Les volcans et leur histoire*, en los que combinaba rigor científico con una narrativa accesible. Su metraje fue utilizado en documentales como *The Volcano Watchers*, y décadas después inspiraría producciones contemporáneas como el filme “*Fire of Love*” (2022), nominado al Óscar.

Uno de sus proyectos más influyentes fue la serie de videos “*Understanding Volcanic Hazards*”, creada junto a Maurice para educar a comunidades vulnerables y autoridades locales sobre los peligros volcánicos. Su trabajo tuvo un impacto directo en la toma de decisiones: en 1991 mostraron a la presidenta filipina Corazón Aquino imágenes de la tragedia del Nevado del Ruiz en Colombia, lo que contribuyó a que se ordenara la evacuación masiva previa a la erupción del Monte Pinatubo, salvando decenas de miles de vidas.

El 3 de junio de 1991, durante la erupción del Monte Unzen en Japón, Katia y Maurice perdieron la vida al ser alcanzados por un flujo piroclástico inesperado. En el mismo evento fallecieron también el vulcanólogo Harry Glicken, periodistas y bomberos. Su muerte conmocionó a la comunidad científica, pero su legado perdura: Katia Krafft no solo transformó la vulcanología con su valentía y su mirada visual, sino que también impulsó un enfoque preventivo centrado en salvar vidas, anticipando lo que hoy conocemos como vulcanología aplicada al riesgo.

Referencias

Association Volcanologique Européenne. (3 de mayo de 2005). Hommage à Katia & Maurice Krafft. Lave-Volcans.com. <http://www.lave-volcans.com/intro.html>

CALDERAZZO, J. (1997). Fire in the Earth, Fire in the Soul: The Final Moments of Maurice and Katia Krafft. *Interdisciplinary Studies in Literature and Environment*, 4(2), 71–77. <http://www.jstor.org/stable/44085498>

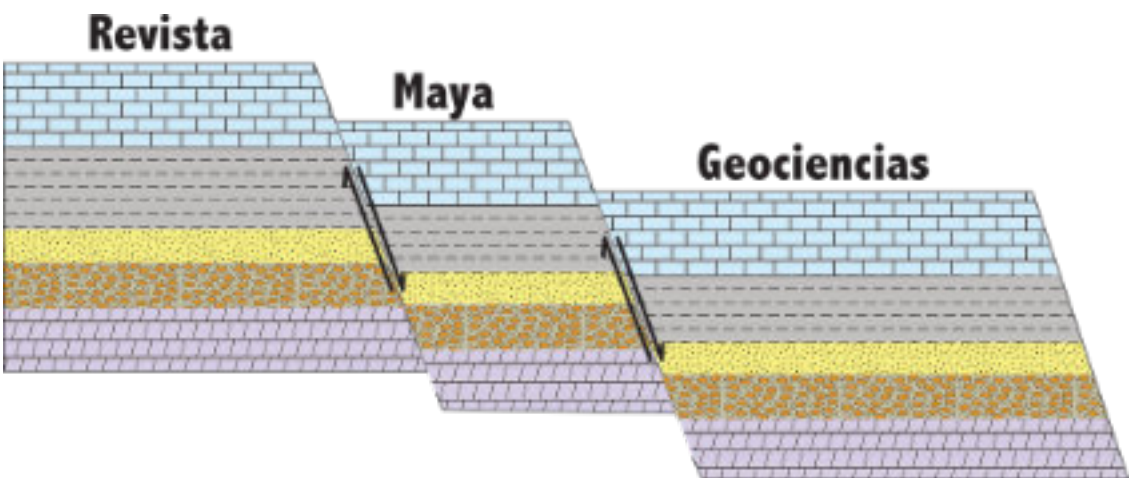
Punongbayan, R., Newhall, C., Bautista, M. L., García, D., Harlow, D., Hoblitt, R., Sabit, J. y Solidum, R. (1994). Eruption Hazard Assessments and Warnings. US Geological Survey Publication Warehouse. <https://pubs.usgs.gov/pinatubo/punong2/>



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 es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. 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). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx



AGUSTÍN UDÍAS VALLINA, 1935-2026, "IN MEMORIAM"

José Antonio Rodríguez Arteaga¹¹rodriguez.arteaga@gmail.com

A MANERA DE RESUMEN

Para elaborar una semblanza precisa del Padre Agustín Udías Vallina, S.J. (1935-2026⁺), una de las figuras más relevantes de la sismología contemporánea y un puente entre *la fe y la ciencia*, basaremos su trayectoria histórica y académica, tomando datos, fechas y nombres de aquí y de allá, según los registros que hemos tenido la fortuna de poder revisar.

Udías no fue solo un buen científico; fue historiador y custodio de lo que él mismo denominó junto a otros hermanos de la *Compañía de Jesús*, "*La Ciencia Jesuítica*", valga decir:

(...) aquella que no se limita a la compilación de datos; sino que está llamada a ser una *ciencia con propósito*, que busca entender la "*geometría de la creación*" para mejorar el conocimiento humano y el bienestar social (...).

Su fallecimiento el 8 mayo de 2026 marcó el fin de una era para la geofísica española como para el grupo sacerdotal en la que profesó su devoción a Cristo y todos aquellos que por una razón u otra practicamos hicimos de la sismología, una cotidianidad.

UN CONJUNTO DE DATOS FAMILIARES, ACADÉMICOS Y JESUÍTICOS

La familia Udías

Nace Agustín el 20 de agosto de 1935 en Santander, España, creciendo en el seno de una familia cántabra de profundas raíces cristianas. Tuvo varios hermanos de cuyo grupo fue otro, Antonio, el llamado por el sacerdocio jesuítico, quien dedicó su vida a las misiones en Taiwán. Esta tradición de servicio y estudio fue una característica de su medio ambiente familiar.

Su formación académica y jesuítica

No hay que dudar en forma alguna que su lapso estudiantil estuvo signado por una preparación rigurosa, *espiritual y científica*. Particularmente en su ciudad natal, Santander. Ya para 1952 ingresa en el noviciado de la *Compañía de Jesús* en donde obtiene la licenciatura en Filosofía en Alcalá de Henares.

En los años 60⁺, específicamente entre 1963 y 1964 se traslada a la *Saint Louis University* (SLU) lo cual marca un hito decisivo en su trayectoria de investigador y en sus habilidades, pues bajo el legado y la influencia de la escuela de *James B. Macelwane* (1883–1956) una de las figuras de la historia de la sismología norteamericana y mundial, su legado no solo definió la "*escuela de San Luis*", sino que sentó las bases institucionales de la geofísica moderna.

Aquí, Udías se integró en uno de los centros de vanguardia de la sismología mundial de la época y consolidó su formación científica especializándose en el estudio de los mecanismos focales de los sismos; campo en pleno desarrollo esos tiempos.

En la misma *San Luis* obtiene maestría y doctorado en geofísica, marcando su dirección investigativa posterior que enlaza la *tradición sismológica jesuita norteamericana*



con el de la geofísica en España.

Influencia de la "*Escuela Teilhardiana*" y la geofísica

Bajo la influencia de Pierre Teilhard de Chardin, S.J., Agustín Udías buscó la convergencia entre *la evolución, la ciencia y la fe*; aplicando una visión integradora a la sismología.

Fue catedrático de Geofísica en la Universidad Complutense de Madrid desde 1977, destacándose sus trabajos sobre el mecanismo de los focos sísmicos y la sismicidad de la región Azores-Gibraltar con referencia mundial. En calidad de contribuidor científico, su legado a la *Compañía de Jesús* la dividió como director del Observatorio del Ebro y defensor incansable de la red global de observatorios jesuitas.

En la denominada *Ciencia Jesuítica*, denominada anteriormente, Udías fue su principal cronista de cómo los jesuitas dominaron la sismología mundial. Él explicaba que la "*Compañía*" podía hacer ciencia porque tenía *presencia global*.

Así señalaba; (...) *Para entender un terremoto necesitas distancia* (...) y los jesuitas estaban repartidos por todo el mundo, lo que les permitió crear la primera red sismológica global antes que cualquier gobierno, (Udías, A, 2005).

SACERDOTES JESUÍTICOS Y SISMÓLOGOS VENEZOLANOS

La *Compañía de Jesús* en el país destacó en particular por la existencia de un observatorio en el Colegio San Ignacio, ubicado en la esquina de Tienda Honda y el cual se encontraba inactivo para 1942, época en la que Röhl dirigía al Observatorio Cagigal.

Lo acá anteriormente expuesto, señala una iniciativa "*alterna*" de los estudios sismológicos realizados fuera de las iniciativas del Estado. Lamentablemente se desconoce el paradero del instrumental y su uso fuera de algunos aparatos especiales empleados en la "*caraqueñidad*" de su estancia.

De lo que se puede dar fe es que él o los instrumento(s) fueron desmantelados por José Félix Soto desconociéndose el motivo.

Es obligatorio señalar que Röhl publica en el N° 2 del Boletín de la *Sociedad de Ciencias Naturales en Caracas* y

en 1931 un artículo titulado *La sismología en Venezuela*, síntesis general de esta ciencia en el país, desmantelado el instrumento es llevado a la casa de habitación de Röhl ignorándose, su paradero (André Singer, *com. pers.*, 2004). Por noticias recibidas de Agustín Udías S. J., este señala que después de entrar en desuso el sismógrafo en Venezuela, muy probablemente haya dado a parar en Jamaica, pero no existe seguridad en ello. No obstante, afirmó tácitamente, que, (...) *en el Colegio San Ignacio de Caracas, difícilmente sabían algo del instrumento* (...) (Rodríguez Arteaga, 1999).

El P. Luis Zumalabe Bastidas S.J., (Fig.1) nació en San Sebastián, Guipúzcoa, el 22 de noviembre 1872. En 1922 es destinado a Venezuela y designado rector el 3 de diciembre de 1922 del aún no- inaugurado Colegio San Ignacio. Este abrió sus puertas el 8 de enero de 1923, adquirió las casas donde se estableció el colegio en el Centro de Caracas y alquiló una finca en la zona de El Paraíso para el esparcimiento de los estudiantes. Zumalabe hizo frente a las graves dificultades económicas de aquellos primeros años, que no fueron pocas.



Fig. 1 Luis Zumalabe Bastidas S.J.

Fuente: <https://www.jesuitasvenezuela.com>

En paralelo también fue nombrado Vice-superior de la recién fundada *Residencia San Francisco de Caracas*. En 1924 crea las Conferencias de San Vicente de Paúl, que en su primera etapa se congregó en el Colegio San Ignacio en donde periódicamente reunía a un grupo de caballeros, los instruía e iniciaba las prácticas de la caridad a domicilio entre la gente más desprotegida. A partir de 1928 las conferencias se adscriben a la Residencia San Francisco. En 1926 deja el rectorado del Colegio San Ignacio y el 18 de septiembre de ese año es nombrado como el primer Superior de la Residencia San Francisco. Con el mismo grupo de caballeros de las Conferencias de San Vicente Paul realizó la primera tanda de Ejercicios Espirituales Ignacianos, medio cerrados, durante los días de Semana Santa. Luego de su desempeño en Mérida, regresó a Caracas el 9 de junio de 1940 e inauguró la nueva sede Colegio San Ignacio en la Esquina de Mijares. Trabajo en el Colegio hasta 1945, retornó a Mérida durante un breve periodo de tiempo y por razones de

salud tuvo que volver a Caracas para recuperarse en el noviciado San José Pignatelli en los Chorrores. El P. Luis Zumalabe Bastidas S.J., un domingo 25 de abril de 1948, en el noviciado de los Chorrores, con 75 años de edad y 55 años al servicio de la *Compañía de Jesús*. Fue uno de los pioneros de la moderna *Compañía de Jesús en Venezuela*.

En el país la historia de la sismología tiene una *raíz jesuita muy clara*, aunque quizás menos conocida que la de los grandes observatorios de *Manila* o *San Luis*. El epicentro de esta actividad fue el Colegio San Ignacio en Caracas, al cual hemos mencionado.

Aquí sus detalles claves: (1) existió una estación sismológica en el *Colegio San Ignacio de Caracas*. Aunque el colegio fue fundado en 1923 por el padre Luis Zumalabe, S, J, la actividad científica se integró pronto en su misión educativa y de servicio (2) Este observatorio formaba parte de la lista de estaciones jesuitas que el padre Daniel Linehan (un sismólogo jesuita muy influyente) mantenía en sus registros; (3) según los archivos históricos, para el año 1942 la estación del Colegio San Ignacio ya se encontraba inactiva. Esto coincidió con el fortalecimiento de las instituciones estatales venezolanas.

El gran compañero del Observatorio del C. San Ignacio, el Observatorio Cagigal

Imposible hablar de sismología en Venezuela sin mencionar al O. Cagigal, fundado en 1888. Si bien este era un instituto nacional, la relación entre los "*científicos jesuitas*" y la dirección del Cagigal fue estrecha.

Se han señalado "*provenientes de esa orden religiosa - poco creíble en su status del O. Cagigal -*", razón por la cual se puede deducir que el personal del Observatorio Cagigal era esencialmente civil, desconociéndose una relación sacerdotal comparada con la existente en el Colegio San Ignacio.

Durante la época en que el "*Observatorio del Colegio San Ignacio*" operaba, el Dr. Eduardo Röhl dirigía al Cagigal. Pero existió un intercambio constante de datos (¿?), práctica muy común entre los jesuitas (¿?) y las redes científicas civiles de la época?, al presente poco hemos encontrado material de referencia que ello indique.

El Cagigal instaló en su momento un sismógrafo Wiechert de 19,8 toneladas, uno de los más avanzados sismógrafos, que permitió a Caracas conectarse formalmente con la red mundial de detección sísmica (Fig. 2a y 2b).

¿Por qué cesó la actividad sismológica-jesuita en forma directa?

La sismología jesuita floreció donde los estados aún no tenían la capacidad técnica o económica para mantener redes propias. Con la creación firme de instituciones como el Observatorio Cagigal en los años 1901, Caracas y, posteriormente FUNVISIS en 1972, el Estado venezolano asumió plenamente el control de la investigación sísmica hasta fecha reciente.

La misión de Udías Vallina en el *Colegio San Ignacio* estuvo centrada, más en la formación académica y humana, aunque siempre mantuvo el espíritu de "*hallar a Dios en todas las cosas*"; incierto es su presencia física en él pero sí más la vocación que ya traía.

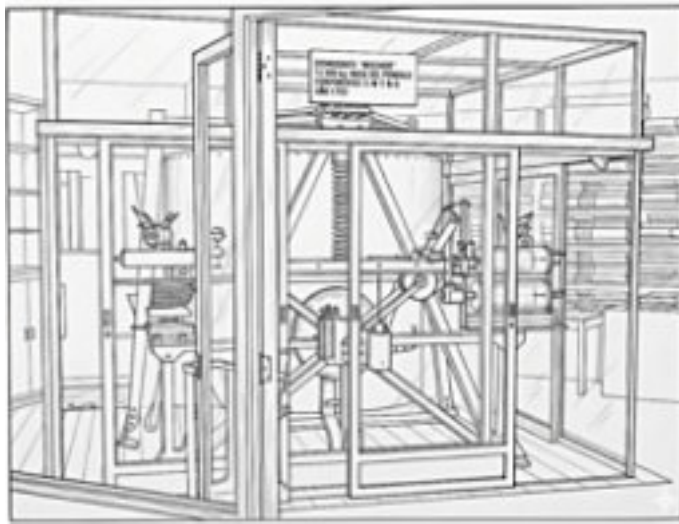


Fig. 2a. Gráfico adaptado del Sismógrafo Wiechert.
(Fuente: Colección FUNVISIS)

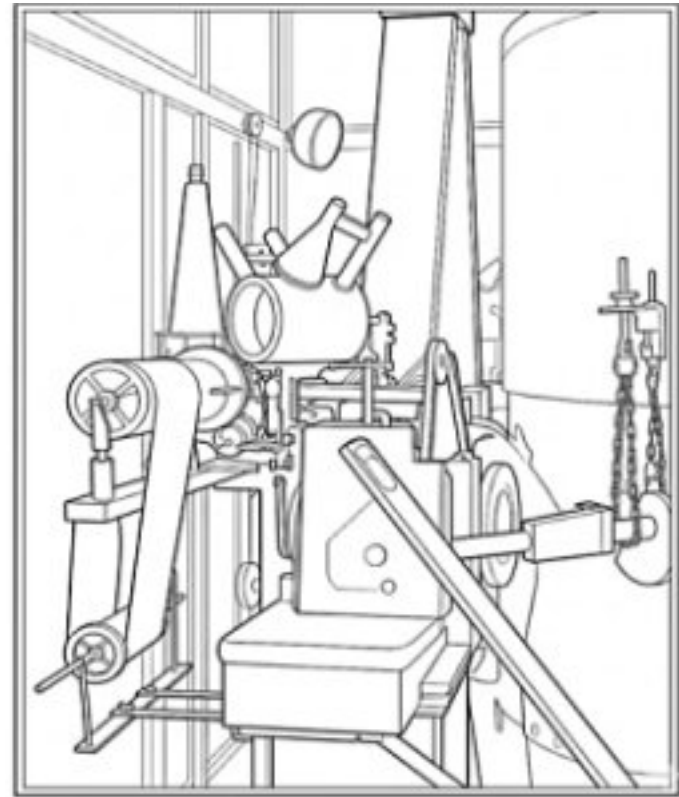


Fig. 2b. Detalle simplificado del Sismógrafo Wiechert.
(Fuente: Colección FUNVISIS)

ADIÓS A AGUSTÍN UDÍAS

Agustín Udías destacó su brillante dualidad como científico y sacerdote miembro de la última generación de jesuitas científicos españoles influenciado por *Pierre Teilhard de Chardin* (1881-1955, como reconocido científico en el campo de la geología y de la paleontología, cuya preocupación fue siempre cómo integrar el pensamiento cristiano y la espiritualidad ignaciana en la

nueva cosmovisión presentada por las ciencias de un mundo en evolución en un inmenso espacio-tiempo). No en vano era miembro activo de la **Red Mundial de Amigos de Teilhard** y socio de honor de la **Asociación de Amigos de Teilhard** en su sesión española (Sequeiros San Román, S. J., 2026).

Su misión en la *Compañía de Jesús* se centró en los temas interdisciplinarios relacionados con ciencia y religión, de los que escribió varios libros y artículos e impartió numerosas conferencias.

(...) En estos últimos días de su vida trabajaba en una nueva muy mejorada edición de su texto *"Ciencia y Religión: dos visiones del mundo"*, en palabras del padre Siqueiros. Teniendo muy claro que desde su fundación en el siglo XIV, se caracterizó por el interés en estar presente en el mundo *científico e intelectual*.

Udías en Libros

Udías era entre otros tantos aspectos, un buen autor, pudiéndose mostrar a título de ejemplos:

Ciencia y Religión, dos visiones del mundo (Sal Terrae, 2012); *Los jesuitas y la ciencia*, (Mensajero, 2014), *Athanasius Kircher* (Springer, 2024), *Principles of Seismology* (Cambridge University Press, 1999), *Fundamentos de Geofísica* (en colaboración con J. Mezcuá; 2ª ed., Alianza, Madrid 1997);

Historia de la Física. De Arquímedes a Einstein (Síntesis, Madrid 2004); *El universo, la ciencia y Dios* (PPC, Madrid 2001) y *Searching the Heavens and the Earth: The History of Jesuit Observatories* (Kluwer, Dordrecht 2003) y otros tantos más en que mostró su dualidad hasta el fin de su existencia.

Entre 2001 y 2020, impartió un Curso sobre Ciencia y Religión en la Facultad de Ciencias Físicas, profesor de Filosofía de la Ciencia (Universidad Comillas). Desde su experiencia como religioso, científico y profesor universitario, ofreció sus reflexiones sobre la paz a sus restos, tema de las relaciones entre religión y ciencia.

BIBLIOGRAFÍA

JIMÉNEZ, A. (2021) *El P. Luis Zumalabe Bastidas, S. J. 1872-1948, el fundador abnegado*. <https://www.jesuitasvenezuela.com>

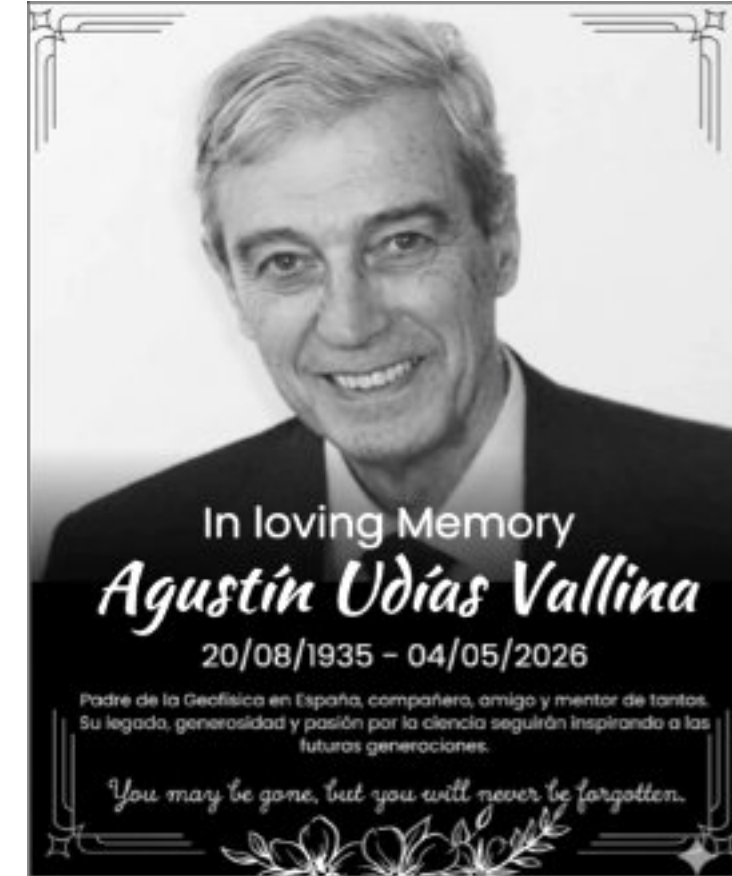
RODRÍGUEZ ARTEAGA, J. A. (1999) *Breve historia de la sismología en Venezuela*, FUNVISIS, Serie técnica N° 1, https://www.funvisis.gob.ve/old/archivos/www/tecnic/docs/historia_sismologia.pdf

UDÍAS, V. A. 2003. *Los jesuitas y el estudio de los terremotos*. Revista hispanoamericana de cultura Razón. 197-210 y Fe. <https://elblogdejaversanchez.blogspot.com/2015/07/agustin-udias-vallina-los-jesuitas-y-la.html>

JIMÉNEZ, A. P. (2021) *Luis Zumalabe Bastidas, S. J. (1872-1948). El fundador abnegado*, <https://www.jesuitasvenezuela.com>

SEQUEIROS SAN ROMÁN, S. J., L. (2026) *Adiós a Agustín Udías, miembro de la última generación de jesuitas científicos en España*. Religión Digital. https://www.religiondigital.org/vida-religiosa/adios-agustin-udias-miembro-ultima_1_1453135.html

SEQUEIROS SAN ROMÁN, S. J., L. (2026) *Adiós a Agustín Udías, miembro de la última generación de jesuitas científicos en España*. Religión Digital. https://www.religiondigital.org/vida-religiosa/adios-agustin-udias-miembro-ultima_1_1453135.html



Fuente: Siqueiros, 2026



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.artega@gmail.com

John L. Hemley: 1926 – 2026



John Julian Hemley of Falls Church, VA, widely recognized for his work in the geochemistry of ore deposits and economic geology, passed away peacefully at home on April 10, 2026, surrounded by family. Julian, also known as JJ, was the husband of Virginia Hemley and father of Russell, Ginette, and Curtis. He was born in El Paso, TX, on November 8, 1926, to Myron R. Hemley and Marion (Hughey) Hemley. He lost his mother when he was four years old and was raised by his sisters and close family friends. Growing up in the dusty environs of El Paso in the 1930s, he had fond memories of the borderlands, including frequent trips into the desert mountains of Northern Mexico and riding horseback in search of precious metal deposits with his father, a prospector and mining man, and later farmer and rancher in Columbus, NM.

Julian attended Austin High School in El Paso, graduating in 1943. With the War in full tilt, he had already worked as a welder's assistant in the famous Swan Island Shipyard in Oregon and in 1944 enlisted in the U.S Army Air Forces. He enrolled in the Texas College of Mines and Metallurgy (now the University of Texas at El Paso). Interested in science, history, and philosophy, Julian's exposure to mineral prospecting and growing up amid the remarkable rock formations of the Rio Grande Rift led him to major in geology, graduating with a B.S. in 1948.

Shortly out of college, Julian taught science at El Paso High School, where he met Helen Virginia Jones who taught English and journalism. They married on June 9, 1951. Already enrolled in Northwestern University, he moved his bride to Evanston, IL, where he conducted research in geochemistry and obtained a M.S. degree in 1953. After a short stint at Standard Oil Company in Placentia, CA, the couple moved to Berkeley, CA, where he pursued a Ph.D. in geochemistry at the University of California. There, he developed new experimental techniques to understand the chemistry of ore deposition, earning his degree in 1958. His M.S. and Ph.D. theses and subsequent publications over the following four decades influenced the development of modern economic geology. Although his papers are still referenced in the scientific literature, his work was not often cited, even early on, because the techniques he pioneered and the principles he established quickly became accepted practice and common knowledge in the field. He was recognized by the Society of Economic Geologists with its highest awards, the R.A.F. Penrose Gold and Silver Medals, for his pathbreaking work.

<https://www.legacy.com/legacy/j-hemley>

Gabriel París Quevedo: 1937 – 2026



Gabriel París Quevedo (1937 - 2026): Fallecido el 2 de marzo de 2026, fue reconocido como un eminente geólogo colombiano y pionero en paleosismología y neotectónica en el país. Egresado de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Trabajó por más de 5 décadas, incluyendo su labor en el Servicio Geológico Colombiano (antiguo Ingeominas) en Cali. Docente de cátedra durante 18 años en universidades como la del Cauca, Javeriana Cali y del Valle, además de ser magíster de la Universidad de Idaho.

La Sociedad Colombiana de Geotecnia lamenta el fallecimiento del geólogo Gabriel París.

Graduado en la facultad de Geología de la Universidad Nacional de Bogotá,

obtuvo el título de MASTER OF SCIENCE, en la UNIVERSIDAD DE IDAHO. Id,

EE.UU. Fué docente de cátedra en geología durante 18 años en las Universidades del Cauca (Posgrado en vías), Pontificia Universidad Javeriana, Cali, (Ingeniería Civil), y en la Universidad del Valle (Departamento de Geografía). Trabajó para EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (Ingeominas) durante 26 años. Además, tuvimos el honor de contar con su participación en el XVIII Congreso Colombiano de Geotecnia 2024 que para nosotros se convierte en un importante recuerdo de su vida.

Su legado científico y académico permanecerá en la historia de la geología colombiana.

<https://www.instagram.com/p/DVZsCcNj1ff/>



José A. Nieto González: 1939 – 2026



Ingeniero geólogo egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en 1965. Trabajó en distintas empresas mexicanas y extranjeras, participó en la investigación de la remoción de impurezas en el mineral de fluorita, obteniendo la patente internacional del proceso. Fue catedrático del área de Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ingeniería de la UASLP por más de 30 años. Fue Director de Desarrollo y Promoción Minera en San Luis Potosí y ha sido reconocido con diversos nombramientos por su amplia y exitosa carrera en la rama de la minería.

Nació el 12 de octubre de 1939 en San Luis Potosí. En 1960, cuando estudiaba ingeniería civil en la universidad Iberoamericana decide cambiar de profesión y cursar la carrera de geología en la Universidad de la UASLP.

El Ing. Nieto concluye sus estudios profesionales en 1965 y comienza a trabajar en Asarco Mexicana. Su siguiente parada fue la empresa Materias Primas Monterrey en la Unidad San José Iturbide, Guanajuato, ahí ocupa el puesto de Superintendente de descapote y minado. Laboró también en la empresa Conductores Monterrey; en Sombrerete, Unidad San Martín; en Cía. Canadiense Noranda; Grupo Industrial Camesa. A su regreso a San Luis Potosí en 1969, paralelo a su trabajo en Las Cuevas se dedicó a la docencia y ocupó diversos puestos en la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México (AIMMGM) y en 1997 se retira de la empresa y comienza a trabajar en el Gobierno del Estado de San Luis Potosí.

En 1971 lo invitaron a formar parte del cuerpo académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí donde impartió diversas materias debido al poco personal que había en aquel entonces, siendo una de las principales: geología y yacimientos.

Durante sus más de 30 años de catedrático fue asesor de tesis, sinodal de innumerables estudiantes y padrino de generaciones de egresados además de ocupar puestos en la parte gremial: Presidente de la Asociación de Ex Alumnos, Consejero Maestro de Ingeniería, Consejero Suplente en el Consejo Universitario siempre participando de manera activa y en pro del bienestar académico. Todo esto no hubiera sido posible sin su participación en la AIMMGM donde se desempeñó como Presidente del Distrito San Luis durante cuatro etapas distintas, además de ser Secretario del Consejo Directivo Nacional durante los períodos 1978-1980 y 1982-1984.

Antonio fue uno de los grandes pilares de la minería potosina, su incansable labor, su capacidad, pero sobre todo su amor por lo que hacía, le ganaron un lugar en la historia de la minería y lo convirtieron en ejemplo para quienes lo conocieron y lo escucharon relatar sus interminables anécdotas y como él decía: ¡si volviera a nacer, volvería a ser geólogo!

Paul F. Williams: 1938 – 2026



Dr. Paul F. Williams, loyal family man, esteemed geologist, and dedicated educator, passed away peacefully in Fredericton, NB on March 16, 2026 at the age of 88. His devoted and much-loved wife of 65 years, Pam, was by his side, together with his daughters. His close and loving family and many friends joined his bedside in person and virtually from around the globe for a weeklong kitchen party vigil. He was a giant to his family and to his friends and colleagues.

Born with an innate fascination for the Earth's landscapes—particularly in his native Northern England—Paul transformed that early passion into a distinguished career in geology. After completing his BSc at Durham University (Dunelm)—where he met Pam in Frosh Week—Paul embarked on a career in exploration geology with Zinc Corporation (Broken Hill Mines) in New South Wales and the Northern Territory, Australia. While in Broken Hill, Paul undertook an MSc with the University of NSW and then completed his PhD at the University of Sydney.

The following years saw Paul, Pam, and their growing family travel, live, and work in many countries in association with a variety of universities. Paul joined the University of New Brunswick as chairman of the Geology department in 1980. His textbook, *An Outline of Structural Geology* (Hobbs, Means and Williams), was regarded as one of the most influential structural geology texts of the 20th century. He mentored about 50 graduate students and post-doctoral fellows, many of whom are world leaders in structural geology. In the words of one: he'll always be there in his students, "grand-students", and beyond.

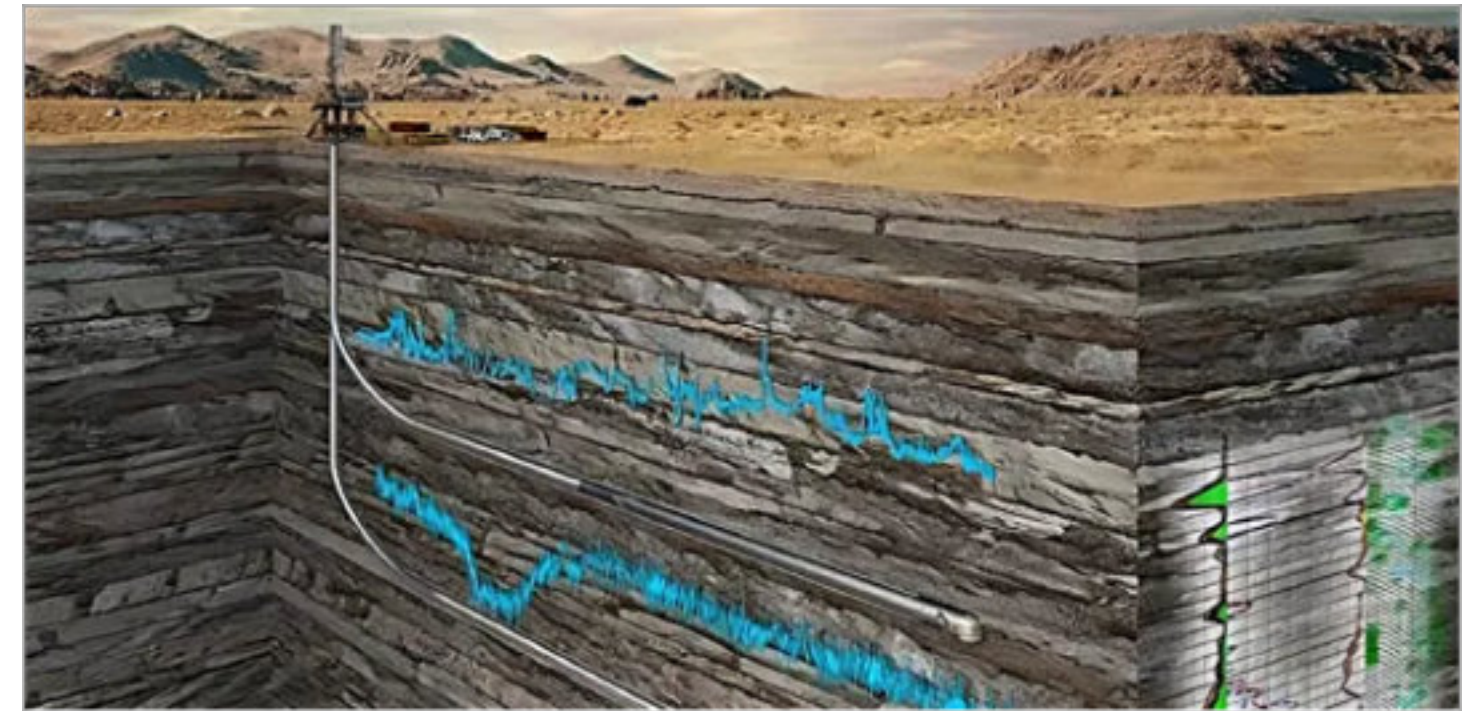
Whilst at UNB, Paul was influential in guiding the development of structural geology in Canada. He was a Distinguished Fellow of the Geological Association of Canada and a recipient of many professional accolades including—as its first recipient—a medal struck in his honour by the Canadian Federation of Earth Sciences for outstanding achievements both as a mentor and scientist. He served on the Technical Advisory Committee (TAC) for Atomic Energy of Canada Limited (AECL) reviewing the Nuclear Fuel Waste Management Program in the 1980s and 90s. He was an early adopter of technology in his work, including on the integration of geomatics and satellite image analysis with geosciences. Paul's work—spanning numerous field studies, publications, and collaborations—left a lasting imprint on the field of geology and he was proud to be recognized as Professor Emeritus at UNB, the university he called home.

When Paul retired, it was said that he had spent more nights in his career under canvas than at home. Paul's family invariably accompanied him in these travels, starting with his first new-born daughter at 2 weeks of age. He fondly recalled camping in so many mountain ranges and regions of the world (Antarctica, Australia, Scandinavia, Italy, and the Canadian Monashees to name a few). Paul enjoyed good food, especially when made by Pam. His Cox's Orange Pippins apple tree and vegetables were tenderly nurtured. Thanksgiving dinner at Tweedside was always a turkey with all the trimmings cooked in a Dutch Oven on an open fire, evoking memories of so many family meals around a campfire during his fieldwork days.

<https://www.flewellingsswan.com/obituaries/191014>.

Miscelanea de Imágenes

https://portaldelpetroleo.com/tipos-de-yacimientos-no-convencionales/#google_vignette



<https://elordenmundial.com/hidrocarburos-no-convencionales/>

10 Geolis
ANIVERSARIO

Tipos de Yacimientos Petroleros

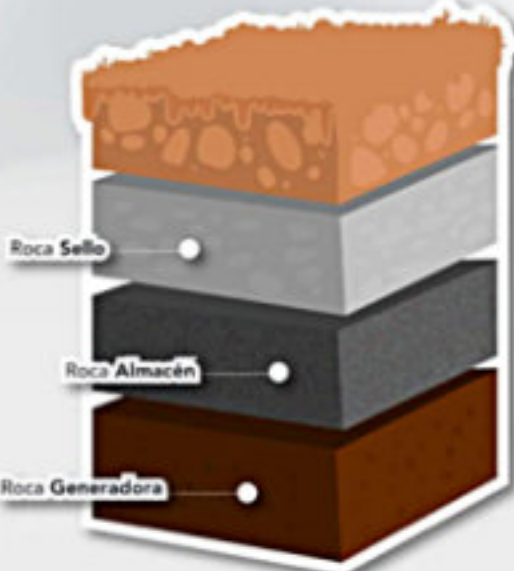
En la industria petrolera, los yacimientos se dividen en **convencionales** y **no convencionales**, diferenciándose por las características geológicas, la facilidad de extracción y las tecnologías empleadas.

CONVENCIONALES

Son aquellos donde los hidrocarburos **fluyen de forma natural hacia el pozo**, impulsados por la presión subterránea, o se extraen mediante **técnicas convencionales** de recuperación en formaciones rocosas de **alta permeabilidad**.

Características:

- **Formación Geológica**
Se encuentran en **formaciones rocosas permeables**, como areniscas o calizas, que **permiten el flujo eficiente** del hidrocarburo.
- **Extracción**
Se extrae mediante **técnicas tradicionales** como perforación directa y puede complementarse con **sistemas artificiales** de producción y métodos de recuperación secundaria.
- **Presión natural**
El hidrocarburo **fluye hacia la superficie** debido a la **presión existente** en el yacimiento, facilitando su extracción.

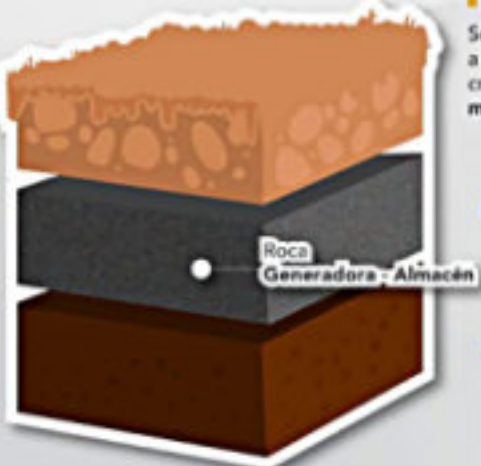


NO CONVENCIONALES

Son aquellos donde el hidrocarburo **no fluye de forma natural**, debido a la **baja permeabilidad del yacimiento** o a la **elevada viscosidad del crudo**, lo que obliga a emplear **técnicas de extracción avanzadas** y de **mayor costo**.

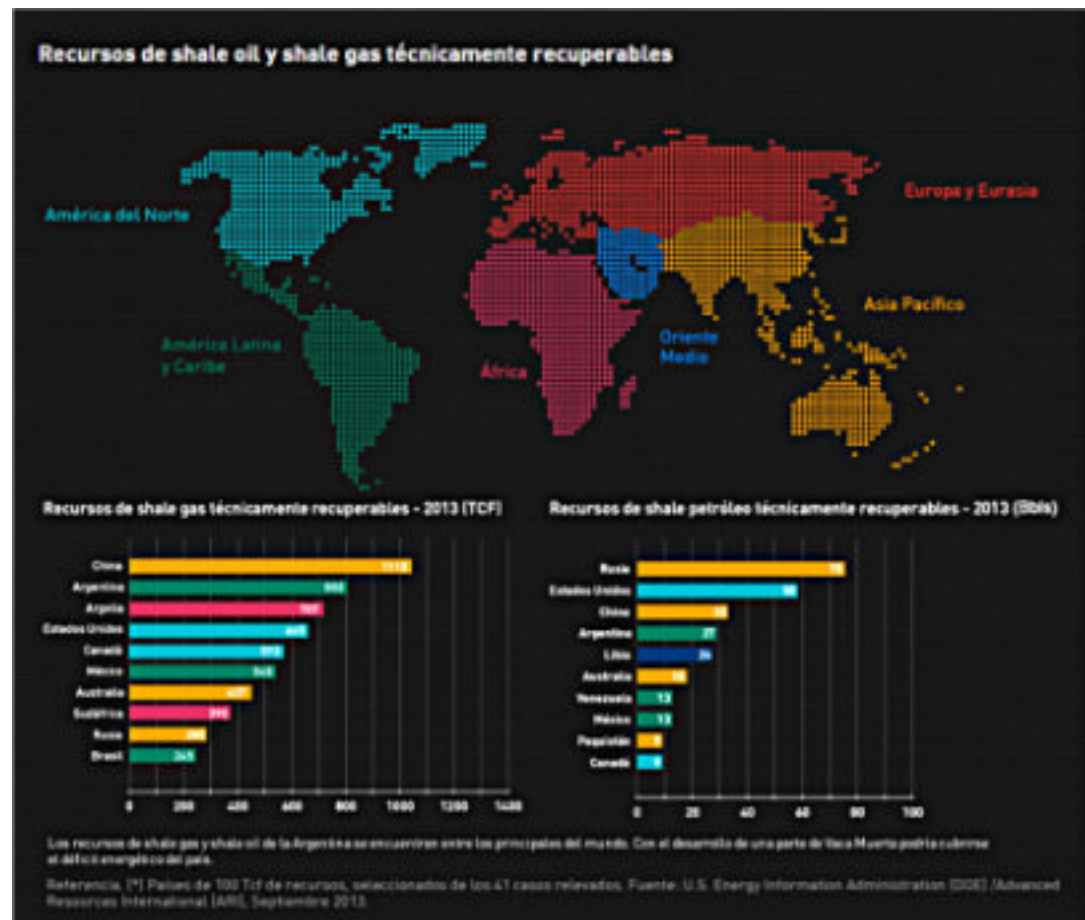
Características:

- **Formación Geológica**
Se encuentran en **formaciones de baja permeabilidad**, como lutitas o arenas compactas, donde el petróleo está **atrapado** en rocas densas.
- **Extracción**
Requiere **técnicas avanzadas** como **fracturación hidráulica** y extracción de petróleo de **arenas bituminosas**.
- **Presión asistida**
La **insuficiencia de presión natural** en yacimientos no convencionales demanda técnicas como la **inyección de vapor**, **solventes** o **CO₂**, para mejorar la **movilidad del crudo** y facilitar su recuperación.



<https://www.facebook.com/photo/?fbid=1176134840541047&set=a.234072844747256>

<https://www.economicas.uba.ar/extension/vocesenelfenix/que-es-el-gas-no-convencional-aspectos-tecnicos-basicos-y-desarrollo-en-la-argentina/>



<http://geocafemx.blogspot.com/2015/11/yacimientos-no-convencionales-parte-3.html>

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Julian L. Mesa-Rojas

Registro y Caracterización del Evento Anóxico Oceánico 2 en la cuenca de Sabinas, noreste de México

Universidad Nacional Autónoma De México.

Tesis que para optar por el grado de: Maestro en Ciencias de la Tierra, Enero 2022

Director de tesis: *Dr. Fernando Nuñez-Useche.*

Resumen

El Evento Anóxico Oceánico 2 (OAE 2) del Cenomaniano–Turoniano y el Evento del Turoniano tardío–Coniaciano (LTCE) son episodios de cambio acelerado global que produjeron dramáticos cambios, principalmente en la temperatura y el ciclo del carbono. En el núcleo IRME-2 (cuenca de Sabinas, noreste de México) se recuperó el registro completo de la Formación Eagle Ford en la cual está registrada la transición entre el Cenomaniano y Turoniano, abarcando desde la biozona de *Rotalipora cushmani* hasta la biozona de *Dicarinella concavata*. Esta formación está constituida principalmente por capas de caliza laminada de color negro a gris oscuro intercaladas con capas de lutita y bentonita.

Para comprender mejor el régimen redox durante el desarrollo del OAE 2 y el LTCE en la cuenca de Sabinas, se realizaron análisis sedimentológicos, petrográficos y geoquímicos. La sucesión sedimentaria depositada durante el OAE 2, en el núcleo IRME-2, se caracteriza por un alto índice de bioturbación, bajo Contenido de Carbono Orgánico Total (TOC) y pobre distribución de los metales traza redox sensibles e indicadores de productividad. Lo que se asocia con un régimen de condiciones redox oxigenadas y condiciones oligotróficas en la columna de agua. Sin embargo, existen lapsos intermitentes en los que se desarrolló un régimen anóxico, lo que permitió el enriquecimiento en TOC y metales traza redox sensibles e indicadores de productividad. Por otro lado, el intervalo asociado a la parte inferior del LTCE, en el núcleo IRME-2, se caracteriza por un alto contenido de TOC y altas concentraciones de elementos traza redox sensibles e indicadores de productividad.

En conclusión, en la cuenca de Sabinas durante el OAE 2 ocurrió un cambio similar al reportado para el Mar Interior Occidental (WIS), donde condiciones oxigenadas prevalecieron. Mientras que el LTCE es caracterizado por sedimentos depositados en un fondo marino con condiciones empobrecidas en oxígeno y una columna de agua rica en nutrientes.

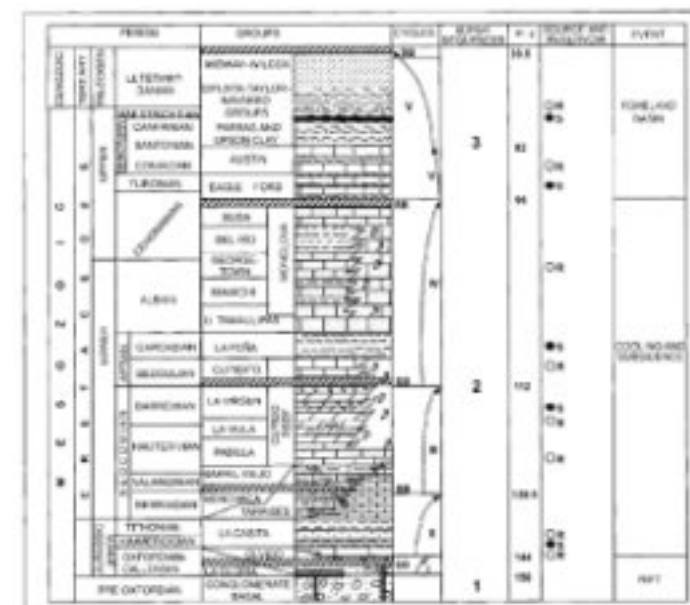


Figura 1.1. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca de Sabinas (tomado de Eguiluz de Antuñano, 2001).

Long-distance up-flank oil migration offshore Brazil

3D basin modelling incorporating pre-salt geochemical data reveals new exploration areas in Santos and Campos Basins

SHARON CORNELIUS, KENNETH SHIPPER, PAUL MANN, CBTHPROJECT, UNIVERSITY OF HOUSTON AND ANDREW PEPPER, THISIS PETROLEUM SYSTEMS

GEO EXPRO 2-2026 | 45

THIS ARTICLE discusses the results of a four-year 3D Earth modelling project that included detailed seismic mapping of 17 surfaces between the seafloor and the top of the Moho, using a detailed grid of both 2D and 3D seismic data from TGS covering 592,000 km² across the combined areas of the Santos, Campos, and Espírito Santo salt basins. The TGS dataset includes ION data recorded to a depth of 40 km and allows detailed mapping of the Moho and constrains the depth to the top of crystalline basement, which can be validated by other seismic profiles. Geopost Energy Brazil, a division of Katalyst Data Management, provided hundreds of well data wireline logs and mud logs. ANP provided geochemical data for 84 pre-salt wells covering all three basins. The ANP dataset also included paleontological reports that helped estimate paleo-water depths for each chronostratigraphic unit in each well.

ASSEMBLING THE DATA FOR BASIN MODELLING

We corrected bottom-hole temperatures (BHTs) and uploaded them to the ExCaliber Earth modelling software from Xplorlab. Detailed lithological content was extracted from the mudlogs by calculating the percentages of clay found in shale, sandstone, and marl for each chronostratigraphic unit per well. Similarly, the percentages of quartz were calculated in shale and sandstone. In addition, the percentages of carbonate, organic matter, evaporite, and volcanic rocks present in each

chronostratigraphic unit were calculated. These ANP wells were reasonably distributed throughout the study area, except in southern Santos, which has become an area of intense exploration interest due to bp's big discovery in the Bumerangue block, announced last August. Seven more wells in southern Santos were added to the project for heat flow and lithological data, even though they did not have geochemical data. We also compiled data in the form of organic carbon and pyrolysis data, including the hydrogen index (HI) and Tmax. All of these accumulated and derived lithologic data were gridded on a per chronostratigraphic-unit basis and then uploaded into ExCaliber, where values of radiogenic heat production (RHP) were inverted for 91 well locations. Crustal RHP and thickness are important in understanding and predicting variations in

the thermal profile across the two rift zones, given their large sediment thicknesses. The resulting 91 1D basin models, along with derived RHP values at each well, were then uploaded into ExCaliber for 3D basin modelling.

Output included predictions for three different source rock intervals: The Barremian (which often contains interbedded volcanic units), the Aptian pre-salt (Organofacies C associated with lacustrine facies), and the Albian post-salt (Organofacies A or B associated with marine carbonate or shale facies). Standard thermal stress (STS) maps were generated for all three source rock interval mid-points. The most important of these is the pre-salt Aptian source rock map. The combined Aptian and Barremian oil and gas production, loosely termed "pre-salt", currently supplies about 80 % of Brazil's total oil and gas ▶

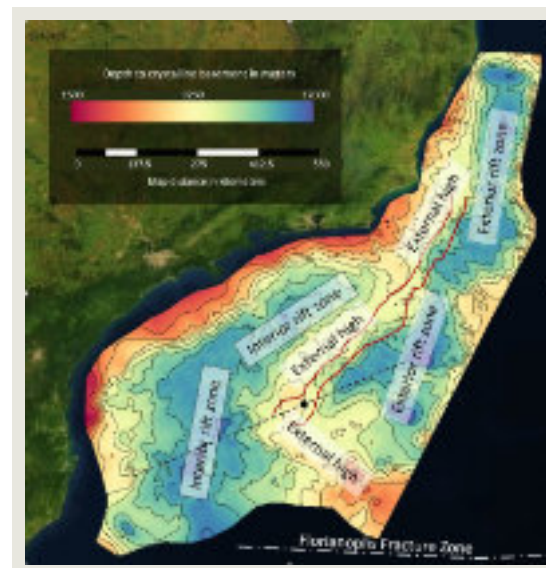


Figure 1: Depth to the crystalline basement map for the study area, showing the three main structural features: The Interior rift zone, the External High, and the Exterior rift zone. The seaward-dipping basin faults are shown in red with the bp Bumerangue discovery well, shown by the black dot. The black dashed line is the location of the arbitrary line through the 3D model in Figure 3. The Florianopolis Fracture Zone separates the non-volcanic Santos, Campos, and Espírito Santo combined basin from the volcanic Pelotas Basin.

New modelling study reveals a petroleum system overlying oceanic crust offshore Equatorial Guinea

New insights into a frontier basin: Douala-Rio Muni Basin

JOSÉ MIGUEL GOROSABEL-ARAUS AND PAUL MANN, DEPARTMENT OF EARTH AND ATMOSPHERIC SCIENCES, UNIVERSITY OF HOUSTON, ANDREW PEPPER, THISIS PETROLEUM SYSTEMS

GEO EXPRO 3-2025

THE DEEPWATER Douala-Rio Muni Basin (DRMB) is a non-volcanic, Mesozoic-Cenozoic rifted passive margin located offshore in Equatorial Guinea (EG), West Africa. Commercial oil and gas fields have been discovered on the shelf and slope of EG include the Ceiba and Okume fields, charged by Lower Cretaceous source rocks on thinned, continen-

tal crust, or the Zafiro and Alen-Aseng fields, which are charged by Paleogene source rocks that overlie oceanic crust of Aptian age. In comparison, the deepwater region of the DRMB east of the Cameroon Volcanic Line (CVL) has yet to yield any major discoveries.

Our analysis of seismic, gravity, magnetic, and geochemical data, was integrated in a full-lithosphere 3D basin

model, revealing a mature, potentially prolific Cretaceous petroleum system extending across oceanic crust, with its potential influenced but not handicapped by the higher thermal history of the adjacent CVL.

FULL LITHOSPHERE MODELS TO PREDICT THE HEAT FLOW

Our study area is located east of the CVL, a 1,700 km long

linear chain of volcanic origin ranging in age from the Eocene to the present. The CVL has influenced the crustal, stratigraphic, and thermal structure of the Gulf of Guinea since its origin in the Paleogene. We combine five 3D seismic surveys covering approximately 7,600 km² (provided by Geoex MCG, along with 2D seismic lines, regional well data provided by Viridien Group), and gravity and magnetic surveys to create a full-lithosphere model. A newly developed gravity inversion technique enabled us to improve the accuracy of the depth to the Moho and the Lithosphere-Asthenosphere Boundary (LAB), revealing zones of mantle upwelling and increased thermal gradients beneath the deepwater region. These thermal anomalies closely align with the elongated, deep-rooted magmatic activity along the CVL and are a critical factor in assessing hydrocarbon generation in the deepwater area.

SEISMIC CLUES TO RESERVOIR AND SEAL POTENTIAL
Seismic interpretation allowed the extraction of key attributes (RMS, sweetness) to identify deepwater fans

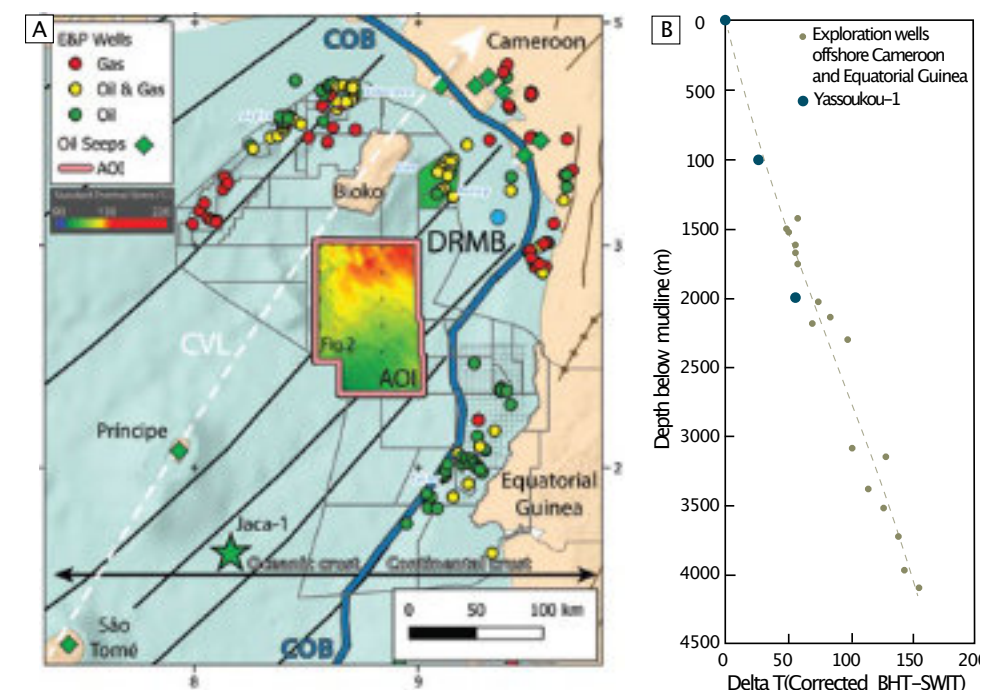


Figure 1A: Detailed map of the study area showing exploration and production blocks, exploration wells, and the distribution of oil and gas seeps in the deepwater Douala-Rio Muni Basin (DRMB). 3D models completed using the software ExCaliber are shown for the area of interest (AOI). COB, Continental-oceanic boundary. B: Corrected bottomhole temperatures (BHTs) plotted as ΔT versus depth below mudline, illustrating regional geothermal gradient trends. Well data shown in Figure 1 were provided courtesy of CGG Services (UK) Ltd (part of the Viridien Group). For data access and licensing of the Viridien GeoVerse™ database, contact GeoVerse.Support@viridiengroup.com.

Palynofacies and paleoenvironment of the Early Cretaceous deposits in the Koppeh-Dagh Basin, Iran

Palinofacies y paleoambiente de los depósitos del Cretácico temprano en la Cuenca de Koppeh-Dagh, Irán

Fariba Foroughi^{1,*}, Saeed Maleki^{2,*}, Elnaz Lesan-Khosh¹, Sepideh Babaei¹, Ebrahim Ghasemi-Nejad^{1,†}

¹Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Tehran, Azar St, Tehran, 16, Iran.

²Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum national d'Histoire naturelle, 57 Rue Cuvier, 75005 Paris, France.

* Corresponding author:
(F. Foroughi) fforoughi@ut.ac.ir
(S. Maleki) saeed.maleki@ndh.mnh.fr

ABSTRACT

We used the palynomorphs from the Early Cretaceous deposits in the Koppeh-Dagh Basin in the Neo-Tethyan province of northeastern Iran to investigate the site's paleoenvironmental conditions and depositional settings. The AOM-Phytoclast-Palynomorph (APP) ternary diagram highlighted three distinct palynofacies: Type I, II, and IVa. We can accordingly conclude that the depositional environments of the basin included a highly proximal shelf, a marginal basin, and a shelf-to-basin transition. Palynofacies analysis of the Sarcheshmeh and Sanganeh formations of the Koppeh-Dagh Basin revealed that the two formations were deposited in a shallow marine setting characterized by conspicuous input of plant material from nearby land. By comparing these results with those from adjacent sections, two paleoenvironmental trends are present in the Koppeh-Dagh Basin: the eastern side was more turbulent, and the western side was quieter. A previous calcareous nannofossil analysis from the section has been used to date the studied interval of the Sarcheshmeh and Sanganeh Formations, indicating a Late Barremian to Late Albian age.

Keywords: palynofacies, Cretaceous, Koppeh-Dagh Basin, Sarcheshmeh Formation, Sanganeh Formation, Iran.

RESUMEN

Utilizamos los polinomorfos de los depósitos del Cretácico inferior en la cuenca de Koppeh-Dagh, situada en la provincia neotetiana del noreste de Irán, para investigar las condiciones paleoambientales y los entornos de depósito del sitio. El diagrama ternario AOM-Fitoclasto-Palynomorfo (APP) destacó tres palinofacies distintas: Tipo I, II y IVa. En consecuencia, podemos concluir que los ambientes deposicionales de la cuenca incluyeron una plataforma altamente proximal, una cuenca marginal y una transición entre plataforma y cuenca. El análisis de palinofacies de las formaciones Sarcheshmeh y Sanganeh de la cuenca de Koppeh-Dagh reveló que ambas formaciones fueron depositadas en un entorno marino somero caracterizado por una notable entrada de material vegetal procedente de tierras cercanas. Al comparar estos resultados con los de secciones adyacentes, se identificaron dos tendencias paleoambientales en la cuenca de Koppeh-Dagh: el sector oriental era más turbulento, mientras que el occidental era más tranquilo. Un análisis previo de nanofosiles calcáreos en la sección se utilizó para fechar el intervalo estudiado de las formaciones Sarcheshmeh y Sanganeh, indicando una edad que va desde el Barremiense tardío hasta el Albense tardío.

Palabras clave: palinofacies, Cretácico, cuenca de Koppeh-Dagh, formación Sarcheshmeh, formación Sanganeh, Irán.

How to cite this article:

Foroughi, F., Maleki, S., Lesan-Khosh, E., Babaei, S., & Ghasemi-Nejad, E. (2026). Palynofacies and Paleoenvironment of the Early Cretaceous deposits in the Koppeh-Dagh Basin, Iran. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 78(1), A010825. <https://doi.org/10.18268/BSGM2026v78n1A010825>

Manuscript received: June 26, 2025
Corrected manuscript received: July 21, 2025
Manuscript accepted: July 31, 2025.

Peer Reviewing under the responsibility of Universidad Nacional Autónoma de México.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Relative age determination of the Sarki Formation in the northeastern margin of the Arabian plate, revealed by foraminifera and dasycladacean algae

Determinación de la edad relativa de la Formación Sarki en el margen noreste de la placa Arábiga, mediante foraminíferos y algas dasicladáceas

Irfan Sh. Asaad^{1,*}, Muhamed F. Omer¹, Sardar M. Balaky²

¹ Department of Earth Sciences and Petroleum, College of Science, Salahaddin University-Erbil, Zanki Street, 44002, Erbil Kurdistan Region, Iraq.

² Department of Petroleum Geosciences, Faculty of Science, Soran University, Soran, Erbil, Iraq.

* Corresponding author:
(I. S. Asaad) irfan.asaad@su.edu.iq

ABSTRACT

The Sarki Formation crops out in several cores and limbs of anticlines in the Western Zagros Fold-Thrust Belt (WZFTB) within the northeastern margin of the Arabian plate. Its precise age is controversial over the past seventy years. A biostratigraphic study of the formation was carried out in the Gulan section of the Asos anticline, within the imbricated zone of the Kurdistan Region, northeastern Iraq, to determine the relative dating of the formation. The Sarki Formation in the studied section is consists of 294 m of medium- to thick-bedded dolomitic limestone and dolomite, interbedded with thin beds of marl and shale in the lower part, and interbedded with medium-bedded limestone in the upper part. Petrographic examination of 80 thin sections from the Sarki Formation revealed several benthonic foraminifera and dasycladacean algal species from the late Triassic to the early Jurassic epochs. The *Triasina hantkeni* species was identified in the lower part of the Sarki Formation for the first time in the northeastern margin of the Arabian Plate, dates back to a Rhaetian age. Biostratigraphically, the formation is divided into five biozones from oldest to youngest: assemblage zone A, B and C dated to the early, middle and late Rhaetian, respectively, assemblage zone D, assigned to the Hettangian and assemblage zone E, corresponding to the lower to middle Sinemurian. The suggested new age of the Sarki Formation in the studied section is Rhaetian to early-middle Sinemurian.

Keywords: biostratigraphy, Early Liassic, Late Triassic-Early Jurassic, Rhaetian, Sarki Formation, northern Iraq.

RESUMEN

La formación Sarki aflora en núcleos y márgenes de anticlinales en el Cinturón Plegado del Oeste de Zagros (CPOZ) dentro del margen noreste de la placa arábiga. Su edad precisa ha sido causa de controversia durante las últimas setenta años. Un estudio bioestratigráfico de la formación se llevó a cabo en la sección Gulan del anticlinal Asos, dentro de la región imbricada de Kurdistán, noreste de Iraq, con el fin de determinar el fechamiento relativo de esta formación. En la sección estudiada, la formación Sarki consiste de 294 m de caliza dolomítica y dolomita, intercaladas con capas delgadas de margas y lutitas en su parte inferior, e intercalada con capas medianas de caliza en su porción superior. El examen petrográfico de 80 láminas delgadas de la formación Sakas revela varias especies de foraminíferos bentónicos y algas dasicladáceas del Triásico tardío al Jurásico temprano. La especie *Triasina hantkeni* fue identificada en la porción inferior de la formación Sarki por vez primera para el margen noreste de la placa arábiga, indicando una edad correspondiente al Rhaetiano. Con base en la bioestratigrafía, la formación es dividida en cinco biozonas, siendo de más antigua a la más joven: zonas de asociación A, B y C, fechadas para el Rhaetiano temprano, medio y tardío, respectivamente, la zona D de asociación es asignada al Hettangiano y la zona E de asociación, correspondiente al Sinemuriano inferior a medio. La nueva edad asignada para la formación Sarki en la sección estudiada es del Rhaetiano al Sinemuriano temprano a medio.

Palabras clave: bioestratigrafía, Liásico temprano, Triásico tardío-Jurásico temprano, Rhaetiano, formación Sarki, norte de Iraq.

How to cite this article:

Asaad, I. Sh., Omer, M. F., & Balaky, S. M. (2026). Relative age determination of the Sarki Formation in the northeastern margin of the Arabian plate: revealed by foraminifera and dasycladacean algae. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 78(1), A080825. <https://doi.org/10.18268/BSGM2026v78n1A080825>

Manuscript received: June 26, 2025
Corrected manuscript received: August 5, 2025
Manuscript accepted: August 8, 2025.

Peer Reviewing under the responsibility of Universidad Nacional Autónoma de México.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Modelos de autorregresión espacial para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa

Spatial autoregression models for the evaluation of landslide susceptibility

Edier Aristizábal^{1,*}

¹ Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Calle 59A # 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia.

* Autor para correspondencia:
(E. Aristizabal) maritizabal@unal.edu.co

RESUMEN

Los movimientos en masa son procesos geomorfológicos críticos que remodelan sustancialmente el paisaje a través del movimiento lateral abajo de suelo y roca, a menudo desencadenados por factores como la precipitación, los sismos o las intervenciones antrópicas. Estos procesos representan amenazas para la infraestructura, la seguridad humana y la estabilidad socioeconómica. Los modelos estadísticos convencionales con frecuencia no logran capturar adecuadamente la naturaleza espacial de la susceptibilidad por movimientos en masa, lo que conduce a resultados sesgados o engañosos debido al supuesto de independencia entre las observaciones, ignorando la heterogeneidad y la dependencia espacial inherentes en los datos. Este estudio aborda estas limitaciones empleando Modelos Autoregresivos Espaciales, los cuales consideran explícitamente la dependencia espacial mediante la integración de matrices de vecindad. El conjunto de datos comprende subcuencas de los Andes colombianos, incorporando predictores morfométricos a escala local y regional, como la pendiente, la hipometría, el área de la cuenca y la precipitación anual. Se construyó una matriz de vecindad basada en criterios de distancia, reconociendo que los factores geoambientales que influyen en los movimientos en masa a menudo se extienden más allá de los límites directos, lo que requiere una comprensión más amplia de las interacciones espaciales. Nuestros hallazgos demuestran que la incorporación de la dependencia espacial mejora significativamente tanto la precisión predictiva como el poder interpretativo de los modelos en comparación con los enfoques convencionales. El análisis mediante el índice de Moran reveló que la pendiente y la precipitación exhiben una fuerte dependencia espacial, formando agrupaciones de valores similares, lo que subraya la necesidad de considerar los efectos espaciales. El Modelo de Error de Durbin Espacial (SDEM) superó a los modelos alternativos al proporcionar valores de R^2 ajustado más altos y optimizar el equilibrio entre la complejidad y el ajuste, medido por el Criterio de Información de Akaike (AIC). Al integrar explícitamente las vecindades espaciales, este estudio proporciona una evaluación robusta y fiable de la susceptibilidad por movimientos en masa, lo cual es crucial para comprender y gestionar estos fenómenos en regiones como los Andes colombianos.

Keywords: movimientos en masa, susceptibilidad, dependencia espacial, Colombia.

ABSTRACT

Landslides are critical geomorphological processes that substantially reshape the landscape through the downslope movement of soil and rock, often triggered by factors such as rainfall, earthquakes, or anthropogenic interventions. These processes pose significant hazards to infrastructure, human safety, and socioeconomic stability. Conventional statistical models frequently fail to adequately capture the spatial nature of landslide susceptibility, often leading to biased or misleading outcomes due to the assumption of independence among observations, which ignores inherent spatial heterogeneity and spatial dependence. This study addresses these limitations by employing spatial autoregressive models, which explicitly account for spatial dependence through the integration of neighborhood matrices. The dataset comprises catchments from the Colombian Andes, incorporating morphometric predictors at both local and regional scales, including slope, hypsometry, basin area, and annual precipitation. We built a neighborhood matrix based on distance criteria, recognizing that geoenvironmental factors influencing landslides often extend beyond direct boundaries, requiring a broader understanding of spatial interactions. Our findings demonstrate that incorporating spatial dependence significantly enhances both the predictive accuracy and interpretative power of the models when compared to conventional approaches. Analysis using Moran's Index revealed that basin slope and precipitation exhibit strong spatial dependence, forming clusters of similar values, which underscores the necessity of accounting for spatial effects. The Spatial Durbin Error Model (SDEM) outperformed alternative models by providing higher adjusted R^2 values and optimizing the balance between model complexity and fit, as measured by the Akaike Information Criterion (AIC). By explicitly integrating spatial neighborhoods in landslide susceptibility assessment, this study provides a robust and reliable assessment of landslide susceptibility, which is crucial for understanding and managing these hazards in regions like the Colombian Andes.

Palabras clave: landslide, susceptibility, spatial dependence, Colombia.

Cómo citar este artículo:

Aristizábal, E. (2026). Modelos de autorregresión espacial para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 78(1), A031025. <https://doi.org/10.18268/BSGM2026v78n1A031025>

Manuscrito recibido: 31 de julio, 2025.
Manuscrito corregido: 17 de septiembre, 2025.
Manuscrito aceptado: 20 de septiembre, 2025.

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Volcanic influence on sediment dynamics and flow distribution at the Mezcalapa River bifurcation, southeast Mexico

Influencia volcánica en la dinámica sedimentaria y la distribución del flujo en la bifurcación del río Mezcalapa, sureste de México

Alejandro Mendoza^{1,*}, Fabian Rivera-Trejo^{2*}, Gastón Priego-Hernández³,
Moisés Berezowsky¹

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 CDMX, México.

² División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa km. 1, Col. La Esmeralda, 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

³ División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa km. 1, Col. La Esmeralda, 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

* Corresponding author:
(F. Rivera-Trejo) jur.rivera@ujat.mx

ABSTRACT

The 1982 eruption of El Chichón volcano, one of the most destructive volcanic events of the 20th century in Latin America, ejected large volumes of pyroclastic material into the Mezcalapa River catchment, located in southeastern Mexico. Approximately 75 km downstream from the location of the volcano, the Mezcalapa River bifurcates into the Samaria and Carrizal rivers, which supply water to highly populated and agriculturally important areas in Tabasco state. This bifurcation is a key fluvial characteristic and variations in its flow distribution have historically caused significant social and economic impacts due to flooding and infrastructure stress. Around one year after the eruption, the bifurcation's flow distribution started a new trend, where the dominant branch began gradually to capture less flow, reversing the trend observed in the preceding decades. This study investigates how and whether a volcanic eruption influences sediment dynamics and hydromorphological processes that could explain this shift. First, historical records and field measurements were analyzed to assess post-eruption changes in sediment load. Second, a morpho-hydraulic numerical model was applied to evaluate the effects of variations in sediment supply on the bed morphology and flow distribution of the bifurcation. Results show that suspended sediment loads increased by a factor of 3 to 10 after the eruption. Even 32 years later, the Platanar River still exhibited sediment concentrations twice as high as pre-eruption values. Modeling revealed that increased sediment supply may modulate differential erosion and sedimentation processes in the branches of the bifurcation, and it can modify the flow distribution. These findings underscore the long-term impact of volcanic eruptions on sediment transport and river morphology. They highlight the need to integrate volcanic sediment dynamics into fluvial hazard assessments and the importance of monitoring and modelling strategies to anticipate downstream consequences in sediment-sensitive elements of fluvial systems such as the Mezcalapa bifurcation.

Keywords: river bifurcation, flow distribution, volcanic impacts, sediment dynamics, geophysical hazards.

RESUMEN

La erupción del volcán El Chichón en 1982, uno de los eventos volcánicos más destructivos del siglo XX en América Latina, expulsó grandes volúmenes de material piroclástico en la cuenca del río Mezcalapa, en el sureste de México. Aproximadamente 75 km aguas abajo de la ubicación del volcán, el río Mezcalapa se bifurca en los ríos Samaria y Carrizal, los cuales abastecen de agua a zonas densamente pobladas y con actividad agrícola relevante en el estado de Tabasco. Esta bifurcación constituye un elemento fluvial estratégico, cuya variabilidad en la distribución del flujo ha ocasionado históricamente impactos sociales y económicos importantes, incluyendo inundaciones y daños en la infraestructura hidráulica. Alrededor de un año después de la erupción, la distribución del flujo en la bifurcación inició una nueva tendencia. El difuyente dominante comenzó gradualmente a capturar menos caudal, revertiendo la tendencia observada en las décadas anteriores. Este estudio examina si la erupción volcánica influyó en la dinámica de los procesos hidromorfológicos que podrían explicar dicho cambio. En primer lugar, se analizaron registros históricos y mediciones de campo para evaluar las variaciones en el transporte de sedimentos tras la erupción. En segundo lugar, se aplicó un modelo numérico morfodinámico para simular los efectos del aporte sedimentario sobre la evolución del lecho y la distribución del flujo en la bifurcación. Los resultados muestran que las cargas de sedimento en suspension aumentaron entre 3 y 10 veces tras la erupción. Incluso 32 años después, el río Platanar, afluente directamente influenciado por la erupción, presenta concentraciones de sedimento dos veces mayores que las condiciones previas. La modelación evidenció que el incremento en la disponibilidad de sedimentos puede modular procesos diferenciales de erosión y sedimentación en las ramas de la bifurcación, y regular la distribución del flujo. Estos hallazgos destacan los impactos a largo plazo de las erupciones volcánicas sobre la morfología fluvial y el transporte de sedimentos. Destacan la necesidad de integrar la dinámica de los sedimentos volcánicos en las evaluaciones de los riesgos fluviales y la importancia de las estrategias de monitoreo y modelado para anticipar las consecuencias aguas abajo en los elementos de los sistemas fluviales sensibles a los sedimentos, como la bifurcación de Mezcalapa.

Palabras clave: impactos volcánicos, bifurcación fluvial, distribución del flujo, dinámica sedimentaria, riesgos geofísicos.

How to cite this article:

Mendoza, A., Rivera-Trejo, F., Priego-Hernández, G., & Berezowsky, M. (2026). Volcanic influence on sediment dynamics and flow distribution at the Mezcalapa River bifurcation, southeast Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 78(1), A150126. <https://doi.org/10.18268/BSGM2026v78n1A150126>

Manuscrito recibido: July 1, 2025.
Corrected manuscript received: November 1, 2025.
Manuscrito aceptado: November 25, 2025.

Peer Reviewing under the responsibility of Universidad Nacional Autónoma de México.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana / 78 (1) / A230925 / 2026 / 1

Taxonomic update on *Astacodes* sp. (Crustacea: Palinuridae) from the Lower Cretaceous of Guerrero, Mexico

Actualización taxonómica en *Astacodes* sp. (Crustacea: Palinuridae) del Cretácico Inferior de Guerrero, México

Oscar González-León^{1,*}, Francisco J. Vega²

¹ Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepantla, 34090, Estado de México, México.

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, CDMX, México.

* Corresponding author: (O. González-León) oscar.gonzalez@unam.mx

ABSTRACT

A reexamination of the specimen originally described as *Astacodes* sp. cf. *A. maxwelli* (Stenzel, 1945) from the San Lucas Formation in southwest Mexico, allows us to consider it as *Astacodes* cf. *fulcifer* based on morphologic criteria closer to *Astacodes fulcifer* from Speeton, England and Neuquén, Argentina. Recognizing the reproductive structures known as gonopores and poorly preserved gonopods allowed a reinterpretation of the Mexican specimen as a male. Sexual dimorphism criteria in this taxon could help resolve taxonomic issues to differentiate between males and females, using sex-specific morphological characteristics, (ornamentation, size, sternum shape, among others). These characteristics can also help compare and differentiate it from other species.

RESUMEN

Una reevaluación del espécimen originalmente descrito como *Astacodes* sp. cf. *A. maxwelli* (Stenzel, 1945) procedente de la Formación San Lucas, al suroeste de México, nos permite considerarlo como *Astacodes* cf. *fulcifer* con base en criterios morfológicos más cercanos a los de *Astacodes fulcifer* de Speeton, Inglaterra, y Neuquén, Argentina. El reconocimiento de las estructuras reproductivas conocidas como gonóporos y gonópodos mal preservados permitió hacer una reinterpretación del espécimen mexicano como un macho. Los criterios de dimorfismo sexual en este taxón podrían ayudar a resolver problemas taxonómicos para diferenciar entre machos y hembras, utilizando características morfológicas específicas del sexo (ornamentación, tamaño, forma del esternón, entre otras). Estas características también pueden ayudar a compararla y diferenciarla de otras especies.

Palabras clave: *Astacodes* cf. *fulcifer*, Formación San Lucas, Cretácico Inferior, dimorfismo sexual.

Keywords: *Astacodes* cf. *fulcifer*, San Lucas Formation, Lower Cretaceous, sexual dimorphism.

How to cite this article:

González-León, O., & Vega, F. J. (2026). Taxonomic update on *Astacodes* sp. (Crustacea: Palinuridae) from the Lower Cretaceous of Guerrero, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 78(1), A230925. <https://doi.org/10.18268/BSGM2026v78n1A230925>

Manuscript received: August 20, 2023.
Corrected manuscript received: September 18, 2023.
Manuscript accepted: September 23, 2023.

Peer Reviewing under the responsibility of Universidad Nacional Autónoma de México.

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana / 78 (1) / A190825 / 2026 / 1

Efecto del uso agropecuario y forestal en la clasificación de suelos en terrazas de Huimanguillo, Tabasco, México

Effect of agricultural and forestry use on soil classification in the terraces of Huimanguillo, Tabasco, Mexico

Isabel Vázquez-Negrin¹, Joel Zavala-Cruz^{1,*}, David Jesús Palma-López¹, Marivel Domínguez-Domínguez¹, Rufo Sánchez-Hernández², Eugenio Carrillo-Ávila³

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina 3/N, 86500, Cárdenas, Tabasco, México.

² División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Tierra km 25, Ranchería La Huasteca, 86200, Villahermosa, Tabasco, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, Km 17.5 Carretera Federal Huixtla-Etá, Motozintla, Sihoche, 24450, Champotón, Campeche, México.

* Autor para correspondencia: (J. Zavala-Cruz) jzavala_cruz@pospos.mx

RESUMEN

La degradación de tierras altera propiedades del suelo, aunque no siempre es claro si estos cambios afectan su clasificación. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del uso agropecuario y forestal en la clasificación de suelos en terrazas de Huimanguillo, Tabasco. Se estudiaron cuatro usos del suelo: plantación forestal de hule (*Hevea brasiliensis*), pastizal (*Brachiaria humidicola*), cultivo de linde (*Citrus latifolia*) y vegetación secundaria, localizados bajo condiciones similares de topografía, material parental, tiempo y clima. En cada uso se describieron cuatro perfiles y se tomaron muestras por horizonte. Las propiedades físicas y químicas se determinaron conforme a la NOM-021-RECNAT-2000 y la clasificación se realizó con el sistema WRB 2022. Se aplicaron ANOVAs y pruebas de Tukey ($p < 0.05$) para evaluar diferencias en el horizonte A. Los suelos se clasificaron como Umbrilsols (12 sitios) y Lixisols (8 sitios). Los Umbrilsols presentaron calificadores principales Acric y Lixic, y suplementarios Humic, Ferralic, Eutric y Chromic; los Lixisols mostraron calificadores principales Chromic y Ferralic, y suplementarios Cutanic, Dífrenico y Humic. El horizonte A de los Umbrilsols mostró mayores valores de espesor, espacio poroso, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, mientras que los Lixisols registraron mayor chroma, densidad aparente y sodio. Las diferencias se atribuyen a la cubierta vegetal y a la presencia de vegetación arbórea de más de 20 años, favorable para la conservación de Umbrilsols, mientras que los cultivos con eliminación de vegetación herbácea han inducido degradación física y química en Lixisols. El cambio de uso ha repercutido en la clasificación a nivel de grupos.

ABSTRACT

Land degradation alters soil properties, although it is not always clear whether these changes affect soil classification. The objective of this study was to evaluate the effect of agricultural and forest land use on soil classification in the terraces of Huimanguillo, Tabasco. Four land uses were examined: rubber plantation (*Hevea brasiliensis*), pasture (*Brachiaria humidicola*), lime cultivation (*Citrus latifolia*), and secondary vegetation, all located under similar conditions of topography, parent material, time, and climate. In each land use, four soil profiles were described and samples were collected by horizon. Physical and chemical properties were determined in accordance with NOM-021-RECNAT-2000, and soil classification was performed using the WRB 2022 system. ANOVAs and Tukey tests ($p < 0.05$) were applied to assess differences in the A horizon. The soils were classified as Umbrilsols (12 sites) and Lixisols (8 sites). Umbrilsols exhibited the principal qualifiers Acric and Lixic, and the supplementary qualifiers Humic, Ferralic, Eutric, and Chromic. Lixisols showed the principal qualifiers Chromic and Ferralic, and the supplementary qualifiers Cutanic, Different, and Humic. The A horizon of Umbrilsols displayed greater thickness, porosity, organic matter content, and cation exchange capacity, whereas Lixisols showed higher chroma, bulk density, and sodium content. These differences are attributed to vegetation cover and the presence of tree vegetation older than 20 years, which favors the conservation of Umbrilsols, while cultivation practices involving the removal of herbaceous vegetation have induced physical and chemical degradation in Lixisols. Land-use change has affected soil classification at the group level.

Palabras clave: cultivos tropicales, suelos ácidos, funciones ambientales del suelo, degradación de suelos, lombreros.

Keywords: tropical crops, acidic soils, soil environmental functions, soil degradation, low hills.

Cómo citar este artículo:

Vázquez-Negrin, I., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Domínguez-Domínguez, M., Sánchez-Hernández, R. y Carrillo-Ávila, E. (2026). Efecto del uso agropecuario y forestal en la clasificación de suelos en terrazas de Huimanguillo, Tabasco, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 78(1), A190825. <https://doi.org/10.18268/BSGM2026v78n1A190825>

Manuscript received: 12 de agosto, 2024.
Manuscript corrected: 18 de julio, 2025.
Manuscript accepted: 7 de agosto, 2025.

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



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

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

diegogabriel807@gmail.com

LIBRO RECOMENDADO

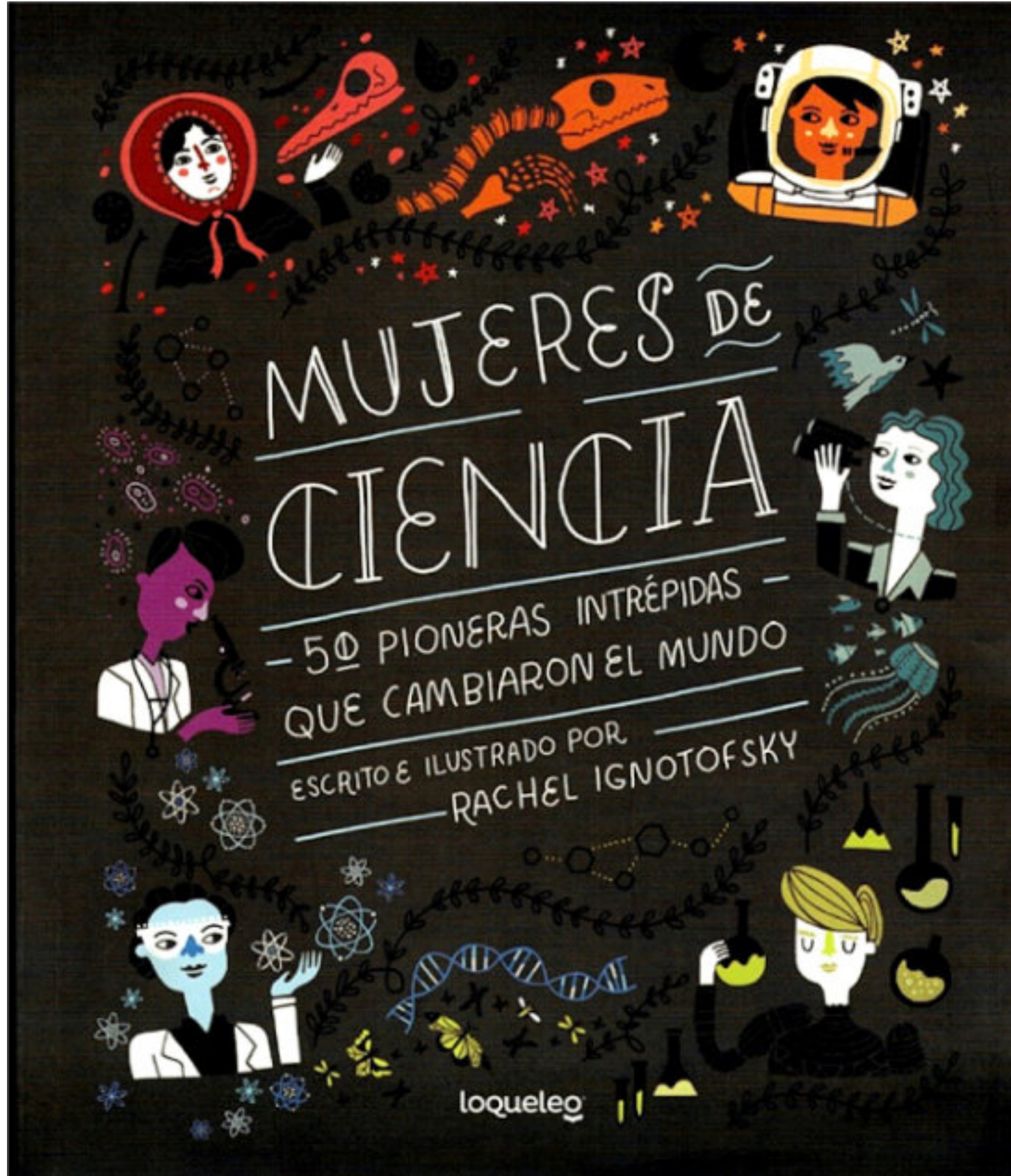
file:///Users/claudiobartolini/Downloads/book_1997_com.pdf



El libro recomendado

file:///Users/claudiobartolini/Downloads/book_1724_com.pdf





Recomendado por la Dra. Norma Elizabeth Olvera Fuentes

Por años, en el ámbito académico y de investigación, la cantidad de profesionales hombres en comparación con las mujeres ha sido mucho, mucho mayor. Esto ha llevado a pensar erróneamente que sólo gracias a ellos la humanidad ha avanzado y ha logrado gran parte de la tecnología y los placeres que actualmente disfrutamos. ¿Será entonces que los hombres son más productivos o más capaces para hacer ciencia?

Nada más alejado de la realidad.

Si históricamente las contribuciones de notables mujeres han quedado en el olvido, ha sido en gran medida por una cultura dominante en la que el papel que se nos ha asignado ha sido el de amas de casa dedicadas a las labores del hogar y la crianza de los hijos. Pero, ¿qué sucede cuando ese rol limita y golpea el espíritu de la mitad del género humano?

Grandes mujeres pioneras no sólo transformaron y revolucionaron el mundo con sus aportes científicos, sino también el modo de vida que actualmente disfrutamos. Muchas de ellas tuvieron que romper paradigmas que, en numerosos casos, les significaron humillaciones, burlas y desdén hacia su trabajo. Sin embargo, gracias a esa lucha constante, poco a poco se fueron abriendo puertas para que hoy las mujeres podamos asistir a la universidad, votar y vivir nuestra vida con mayor libertad. Aunque aún quedan muchos retos por enfrentar, sin duda el panorama es mejor que hace apenas 50 años.

Ante este contexto, recomendamos el libro *Mujeres de ciencia: 50 pioneras intrépidas que cambiaron el mundo*, escrito e ilustrado por Rachel Ignotofsky.

En este viaje, la autora nos presenta las biografías de grandes científicas acompañadas de ilustraciones muy creativas. No sólo conocemos la vida de posiblemente la mujer científica más famosa del mundo, Marie Curie, sino también la historia de mujeres cuyo afán por descubrir los misterios de la naturaleza y compartir ese conocimiento con la humanidad incluso les costó la vida, como es el caso de la geóloga y vulcanóloga Katia Krafft, quien falleció en 1991 cuando el volcán Monte Unzen, en Japón, cobró su vida y la de otras 40 personas. Muchas de estas científicas desafiaron constantemente los límites de la seguridad, acercándose a fenómenos naturales extremos para comprenderlos mejor.

Este recorrido comienza con la vida y aportaciones de una de las primeras mujeres matemáticas registradas en la historia, Hipatia de Alejandría, quien realizó importantes contribuciones en astronomía, matemáticas y filosofía. Seguida de la vida de mujeres como Maria Sibylla Merian, Wang Zhenyi, Mary Anning, Ada Lovelace, Elizabeth Blackwell, Hertha Ayrton, Karen Horney, Nettie Stevens, Florence Bascom, Marie Curie, Mary Agnes, Lise Meitner, Lillian Gilbreth, Marjory Stoneman Douglas, Gerty Cori, Joan Beauchamp Procter, Cecilia Payne-Gaposchkin, Barbara McClintock, Maria Goeppert-Mayer, Grace Hopper, Rachel Carson, Rita Levi-Montalcini, Dorothy Hodgkin, Chien-Shiung Wu, Hedy Lamarr, Mamie Phipps, Gertrude Elion, Katherine Johnson, Jane Cooke, Rosalind Franklin, Esther Lederberg, Vera Rubin, Annie Easley, Jane Goodall, Sylvia Earle, Valentina Tereshkova, Patricia Bath, Christiane Nüsslein-Volhard, Jocelyn Bell Burnell, Sau Lan Wu, Elizabeth Blackburn, Katia Krafft, Mae Jemison, May-Britt Moser y Maryam Mirzakhani entre muchas otras.

Páginas que seguirán extendiéndose, deseando que las futuras científicas que hoy leen esta revista algún día vean su nombre escrito en las páginas de la historia gracias a sus grandes contribuciones en favor de la humanidad, la preservación de la vida, el ambiente y nuestra Tierra.

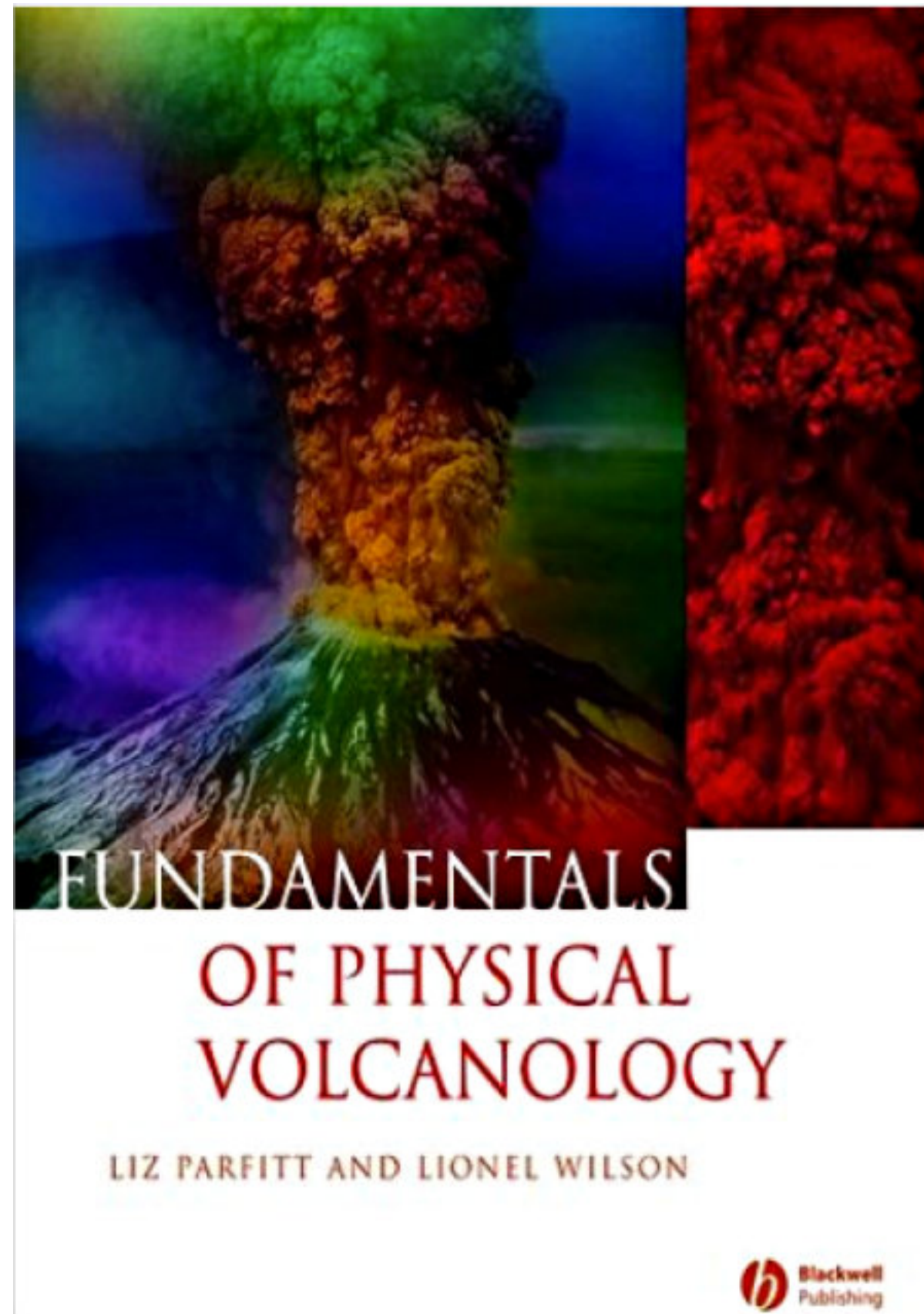
Este compendio de grandes científicas reúne mujeres de diversas épocas, nacionalidades, credos e historias, mostrando que la labor de hacer ciencia es universal, sin límites de edad, raza y mucho menos de género.

Referencia: Ignotofsky, R. (2017). *Mujeres de ciencia: 50 pioneras intrépidas que cambiaron el mundo*. Santillana.



En memoria de mi madre, Juanita Fuentes Pérez, la mujer que me enseñó el valor del trabajo, del estudio y del conocimiento al servicio de la vida.

<https://www.amazon.com.mx/Fundamentals-Physical-Volcanology-English-Parfitt-ebook/dp/B001INWD9E>



<https://www.amazon.com.mx/Aventuras-Fourier-Spanish-Varios-Autores/dp/6070209990>



Sostenibilidad en la transición energética. África: recursos, energía y vulnerabilidad. Parte II.

Natalia Silva Cruz
Colaboradora de la Revista

En el artículo anterior analizamos a África como proveedor de materiales críticos para la transición energética y la evolución de las estrategias geopolíticas que se gestan para controlar su riqueza mineral. Sin embargo, el papel de África en la transición energética no se reduce a un rol simplista de productor minero sino como implementador de sistemas descentralizados de generación eléctrica renovable en lugares excluidos de la infraestructura energética tradicional del mundo occidental. Paradójicamente, millones de personas que carecen de acceso garantizado a electricidad constante están hoy transformando de manera silenciosa la arquitectura energética desde cero, regiones olvidadas que no llegaron a consolidarse plenamente en el siglo pasado y que hoy se ponen al corriente.

Imaginar un mundo en el que cosas básicas como el acceso digital, la refrigeración de vacunas, o el calentamiento de alimentos con microondas no esté masificado, es casi imposible. No obstante, así es como viven unos 600 millones de personas en el África subsahariana, equivalente a cerca del 45% de la población regional. Mientras que un estadounidense usa en promedio al año unos 12.500 kWh, un africano de la media utiliza unos 600 kWh. Esta escasez energética le ha dado un impulso a la transición que no hemos visto en ningún otro lugar, partiendo de que ni siquiera se puede llamar propiamente transición a algo que no se está transformando. Allí no se está descarbonizando la

economía, se está construyendo el aparato energético que más se ajusta a ciertas insuficiencias. Lo que para algunos lugares es un lujo, para África es la mejor solución para sus problemas: un sistema descentralizado, modular y resiliente, que viene siendo justamente como describiríamos a muchas de las instalaciones de generación eléctrica proveniente de fuentes renovables.

Si bien África tiene una ubicación privilegiada en la que la radiación solar que recibe es excelente para su aprovechamiento mediante la implementación de granjas solares, actualmente solo cuenta con cerca del 4% de la generación solar global. Ahora, esto está escalando aceleradamente, durante 2025, África fue el mercado con el mayor crecimiento de módulos solares, debido principalmente a los bajos precios de los equipos provenientes de China, el aumento del precio del diésel y la incapacidad de las redes eléctricas tradicionales para crecer al mismo ritmo que la demanda.

África hace uso de proyectos a escalas ínfimas en comparación con las centrales eléctricas enormes de las grandes potencias. Estos sistemas menores combinan tecnologías como paneles solares, baterías para almacenamiento energético y redes de distribución locales que brindan seguridad, independencia y disminución de costos porque se limitan las extensiones de la malla de transmisión y se minimizan los trabajos de su operación y mantenimiento. Como si fuera poco, brindan una solución extremadamente rápida en comparación a lo que se haría según los esquemas tradicionales de generación y transporte energéticos. Por último, también somos testigos de la creación de sistemas híbridos que combinan energía solar, baterías para almacenamiento, diésel, conexiones parciales a las redes nacionales y plantas de generación privadas.

África es un testimonio que demuestra que los sistemas energéticos tradicionales no tienen una arquitectura desarrollada alrededor del consumidor, todo lo contrario, son las sociedades quienes se tienen que adaptar a un sistema obsoleto. La realidad africana evidencia que la descarbonización es un proceso posible en el que el

aprovechamiento energético es descentralizado y se adapta a las necesidades de la comunidad. En África coexisten dos épocas históricas, una en la que se arrastran carencias de siglos pasados, y otra en la que se construyen algunas de las soluciones energéticas más innovadoras del siglo XXI.

Agencia Internacional de la Energía. *Financing Electricity Access in Africa*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/financing-electricity-access-in-africa>, Licence: CC BY 4.0. 2025.

Agencia Internacional de la Energía. *Africa Energy Outlook 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2022>, Licence: CC BY 4.0. 2022.

Harvey, F. Hopes rise for green economy boom at Africa Climate Summit. The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2025/sep/08/green-economy-boom-africa-climate-summit-renewable-energy-solar>. 2025.

Olingo, A. Africa leads growth in solar energy as demand spreads beyond traditional markets, report says. AP News. <https://apnews.com/article/solar-energy-china-imports-battery-cbf5477a563219881b5db52ae16f7bd6>. 2026.



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

Las energías renovables y su integración en vehículos eléctricos

Daniel Arturo Maciel Fuentes
Estudiante de Doctorado en Energía
Esime Culhuacán

Resumen

Este artículo explora la relación sinérgica entre los vehículos eléctricos y las fuentes de energía renovable para abordar las preocupaciones ambientales y fomentar el transporte sostenible. Si bien los vehículos eléctricos ofrecen la importante ventaja de no generar emisiones, su impacto ambiental depende de la fuente para la generación de electricidad.

El artículo destaca el papel crucial de las fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica para el suministro de energía a los vehículos eléctricos y minimizar sus emisiones contaminantes. Al analizar diversos enfoques de carga, incluidos los sistemas fotovoltaicos y turbinas eólicas, las estaciones de carga públicas con energías renovables, el artículo demuestra la viabilidad y practicidad de integrar los vehículos eléctricos con la energía renovable.

También, se destaca el enfoque de recolección de energías renovables como la solar y la eólica para el suministro constante de energía para alimentar sistemas eléctricos de los vehículos eléctricos como luces, sensores, sistemas de aire acondicionado, entre otros. Lo cual, podría incrementar la eficiencia general de los vehículos eléctricos y reducir la dependencia energética de sus baterías. Finalmente, el artículo subraya el potencial de los vehículos eléctricos para promover la transición hacia un panorama energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Introducción

En los últimos años, el mercado de vehículos eléctricos (EVs) ha tenido una mayor importancia en el mundo,

alcanzando una cantidad de vehículos eléctricos vendidos de aproximadamente 58 millones de unidades en el año 2024 (Alsauskas et al, 2025). Los vehículos eléctricos son aquellos vehículos que son impulsados parcial o totalmente por un motor eléctrico, los cuales se pueden clasificar en diferentes categorías. Primeramente, el primer EV surgió a principios de 1990 como vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEVs), los cuales combinan el funcionamiento de los motores eléctricos con los motores de combustión interna. Los vehículos que se impulsan totalmente con motores eléctricos son llamados vehículos eléctricos a batería (BEVs), los cuales utilizan un motor eléctrico para su propulsión. Los BEVs han sido ampliamente aceptados por los usuarios (véase Figura 1).

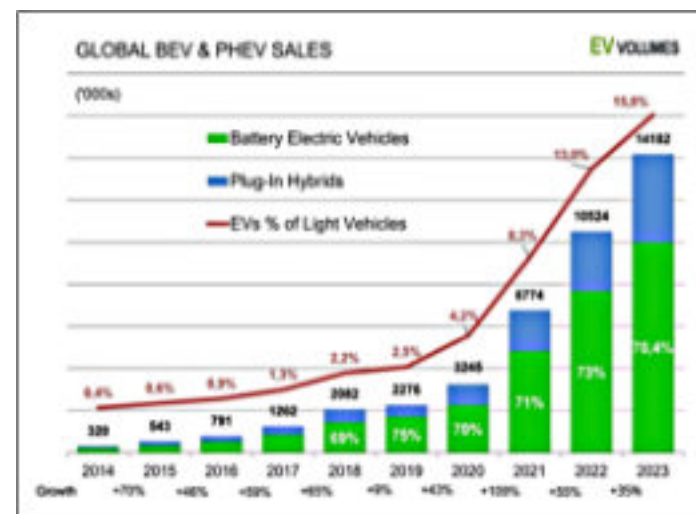


Figura 1. Ventas de los BEVs y PHEVs en el mundo (Alsauskas et al, 2025).

La gráfica de la Figura 1 puede confirmar lo mencionado previamente debido al crecimiento en la cantidad de BEVs en el mundo. En México,

Los vehículos eléctricos ofrecen diversas ventajas como cero emisiones de gases de escape, menores costos operativos (menor precio de combustible), independencia energética, mayor eficiencia que los vehículos de combustión interna, silenciosos, mayor torque instantáneo, entre otros (Alanazi et al, 2023). Sin embargo, los BEVs tienen retos y desventajas como costos de adquisición, falta de infraestructura, tiempos de recarga y autonomía limitada. Los vehículos eléctricos son una parte importante del Internet de los Vehículos, el cual es un

paradigma de la comunicación que permite la intercomunicación entre carreteras y vehículos. En los últimos años, este paradigma ha incrementado la cantidad de aplicaciones y dispositivos eléctricos en los BEVs, los cuales provocan una mayor demanda de energía, lo cual genera la necesidad de explorar fuentes de energía alternativas. La recolección de energía es un enfoque que captura energía de diversas fuentes ambientales para ser almacenada en la batería, reduciendo la dependencia energética de las baterías (Bai et al, 2021). Para comprender la relevancia de la recolección de energía es necesario analizar como los vehículos consumen y pierden energía durante su operación. El consumo de energía depende de factores como la temperatura, condiciones climáticas, tipo de vehículo y el tipo de conducción (Al-Wreikat et al, 2021). En ciudad, los BEVs consumen un 20% para el sistema de propulsión, un 10 % en la carga de la batería, un 10 % debido a los dispositivos eléctricos auxiliares y el 60% restante, la energía se disipa en la resistencia al viento, la resistencia a la rodadura y el frenado. En la Figura 2 se observan los consumos y pérdidas de energía de los vehículos eléctricos (EPA, 2017).

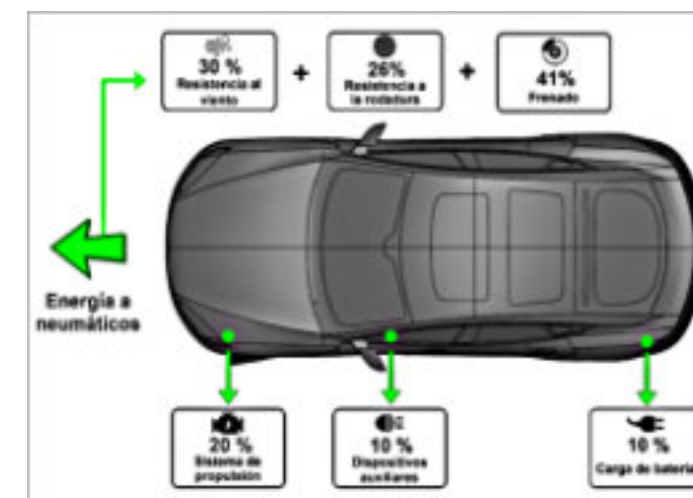


Figura 2. Consumos y pérdidas de energía en BEVs. Elaboración propia tomando datos de (EPA, 2017).

En este contexto, el uso y recolección de las energías renovables aplicadas en los vehículos eléctricos podría beneficiar a los vehículos eléctricos aumentando su

eficiencia, su rango de conducción y frenar la degradación de las baterías, extendiendo su vida útil operativa. De manera indirecta, la introducción de energías renovables en la red eléctrica (especialmente para su uso en la recarga de vehículos eléctricos) podría beneficiar en reducir las emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica.

Las energías renovables en la matriz energética

El sector energético ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de un país en términos económicos, sociales y ambientales con el objetivo de satisfacer las necesidades y suministro energético sea suficiente y eficiente para la población a largo plazo (SENER, 2023). La demanda mundial de energía ha estado relacionada principalmente por los avances tecnológicos y científicos, los cuales han sido parte fundamental para el desarrollo y mejora en la calidad de vida de la sociedad. Por ello, a medida que la población crece, es necesario satisfacer la demanda energética que se deriva del consumo energético per cápita. Esta dependencia energética, principalmente de combustibles fósiles, podría causar una variación en precios y agotamiento de los recursos (Shirole et al, 2023). Para tener una representación cuantitativa y gráfica de los recursos y su estructuración en términos de producción y consumo en una determinada región, se utiliza una herramienta llamada matriz energética (Bertinat, 2016).

En 2022, la demanda global de energía creció en un 1.3% debido a la recuperación económica surgida después de la pandemia ocurrida en 2020 (IEA, 2024). También, derivado de la guerra ocurrida entre Ucrania y Rusia, hubo una alteración en los mercados energéticos mundiales. Este suceso causó una interrupción en el suministro de combustibles fósiles, principalmente el petróleo y el gas natural, provocando un aumento en los precios de estos.

Derivado de la dependencia de la mayoría de los países de Europa con los energéticos rusos, los países se replantearon y evaluaron sus estrategias en seguridad energética buscando lograr una diversificación de sus fuentes de energía para no depender completamente de

combustibles fósiles y trascender hacia fuentes de energía renovables. Sin embargo, por la urgencia y necesidad inmediata de suministro energético, los países optaron por la producción de combustibles fósiles a corto plazo (IEA, 2024). En 2022, la producción mundial de energía primaria ha tenido un incremento con respecto al año 2021. Donde, los principales países en producción de energía primaria fueron China (20.82%), Estados Unidos (15.38%), Rusia (9.58%), Arabia Saudita (4.54%) e India (4.41%) (IEA, 2023).

En la última década, el porcentaje de combustibles fósiles en la matriz energética ha disminuido del 82% en 2013 al 80% en 2023 (Ritchie et al, 2020). En este mismo periodo, la demanda de energía ha incrementado un 15%, dentro de este incremento, el 40% ha sido mediante energías renovables. Sin embargo, a pesar del crecimiento de las energías renovables, el consumo de los combustibles fósiles alcanzó nuevos máximos, véase la Figura 3.

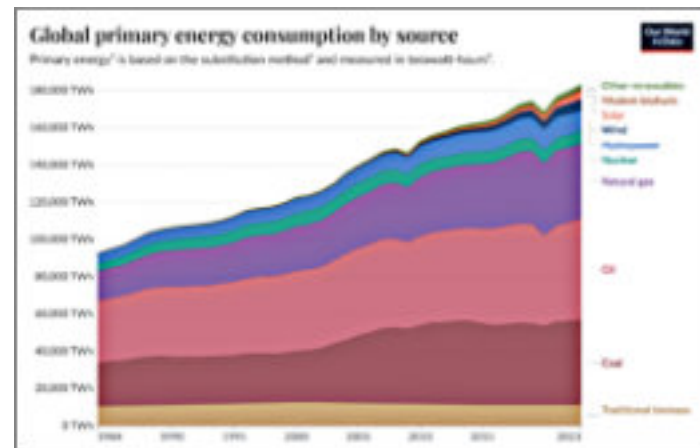


Figura 3. Matriz energética en el mundo (Energy Institute, 2025).

Se puede apreciar de la Figura 4 que la mayor parte de la energía primaria que se produce en el mundo son el petróleo, seguido del carbón, el gas natural, las energías renovables y en menor proporción la energía nuclear.

De acuerdo con el reporte de World Energy Balances del 2022, México ocupa el decimoséptimo puesto en energía producida con un 1.05% de aportación mundial (IEA, 2023).

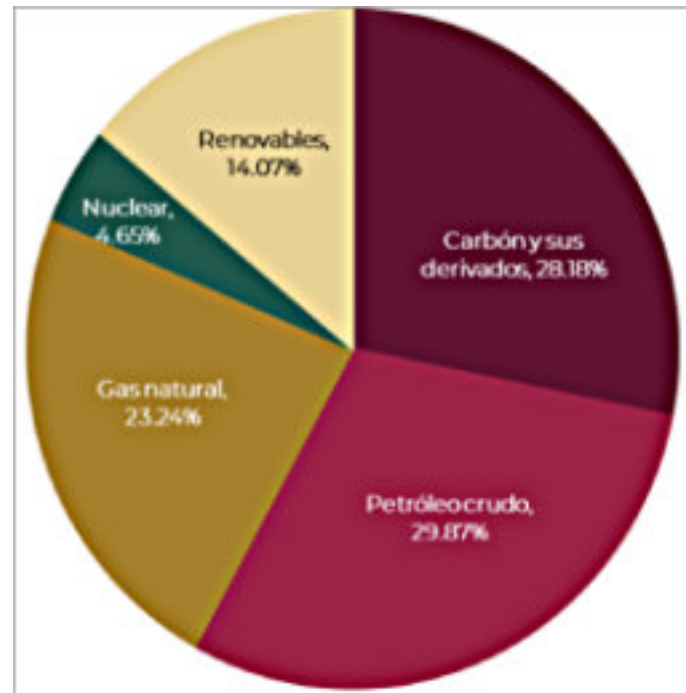


Figura 4. Matriz energética en el mundo (SENER, 2023).

Como se observa en la Figura 5, el petróleo crudo (58.52%) y el gas natural (22.2%), son las mayores producciones energéticas en México. Las energías renovables en México han tenido un porcentaje de crecimiento anual de aproximadamente 6.2% (SENER, 2023). Mientras que la energía nuclear y la producción de carbón mineral apenas alcanza un 2% y 1.84%, respectivamente.

Como se aprecia en la Figura 6, el consumo de energía a nivel mundial y nacional se compone principalmente por petrolíferos, seguidos por la energía eléctrica y el gas natural. Sin embargo, las energías renovables en el 2024, alcanzaron una tasa de crecimiento anual récord del 15.1% (IRENA, 2025).

Las energías renovables en los vehículos eléctricos

Es importante explorar la relación sinérgica entre los BEVs y las fuentes energías renovables para fomentar la transición energética en el transporte sostenible y abordar las preocupaciones ambientales. Las energías renovables son los tipos de energía que se obtienen de fuentes naturales renovables como la energía solar, eólica,

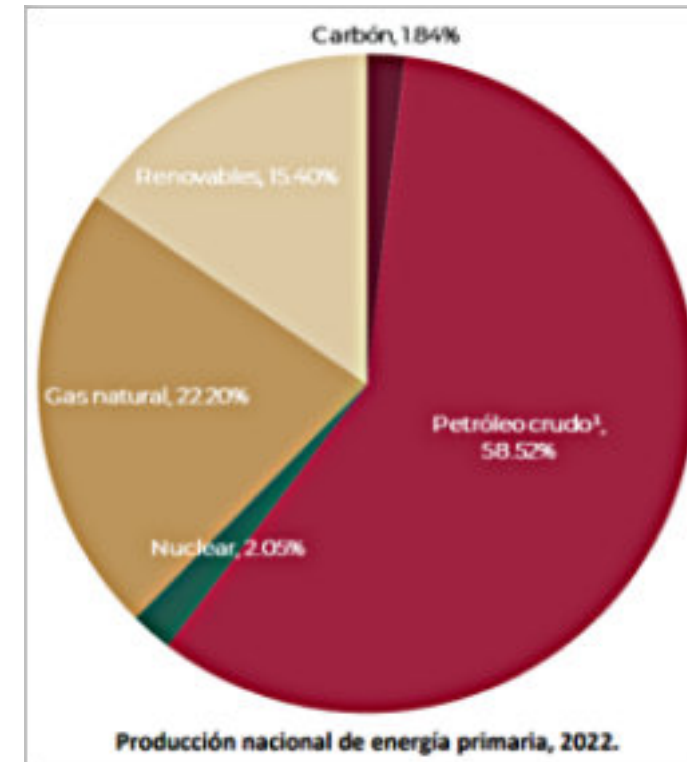


Figura 5. Matriz energética en México (SENER, 2023).

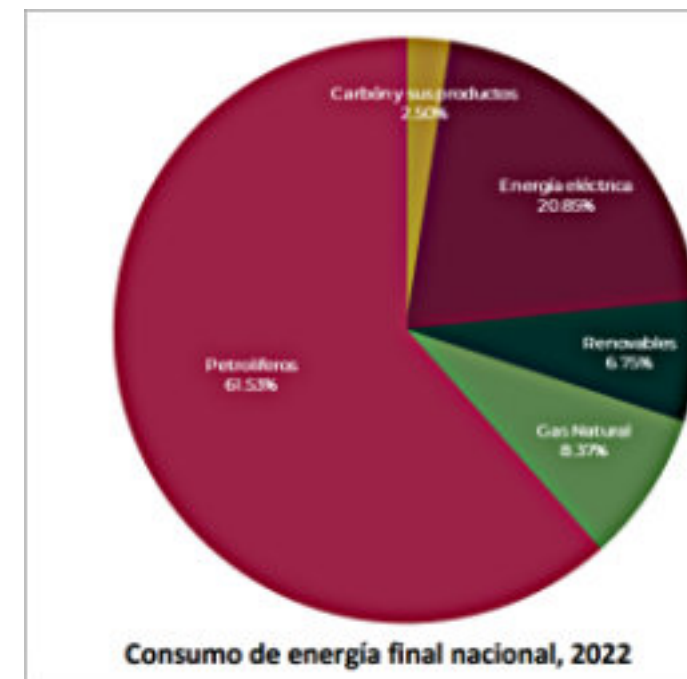


Figura 6. Consumo de energía en México (SENER, 2023).

geotérmica, oceánica, entre otras. Algunos beneficios en la aplicación de las energías renovables en los BEVs se pueden destacar la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, seguridad energética, crecimiento económico y sostenibilidad. Sin embargo, la integración de

las energías renovables en los BEVs tiene algunos retos como la intermitencia en energías como la solar o la eólica, la infraestructura de carga y su disponibilidad, los altos precios de instalaciones de parques eólicos o paneles fotovoltaicos y la integración de energías renovables en la red eléctrica de manera eficaz y segura.

Energías renovables en las estaciones de recarga de vehículos eléctricos

Las energías renovables como la energía solar y la energía eólica pueden ser utilizadas como sistemas de recolección de energía auxiliares para las estaciones de recarga públicas de vehículos eléctricos. El objetivo es minimizar las emisiones contaminantes de CO₂, ya que, si un gran número de vehículos eléctricos se conecta a la red eléctrica, se requiere una mayor cantidad de energía eléctrica cuya cantidad típicamente se produce por productos derivados del petróleo, lo cual produce una gran cantidad de CO₂ (Masuch et al, 2012). Una estrategia para abordar este problema es mediante la integración parcial o total de energías renovables para suministrar energía a las estaciones de recarga (Markel et al, 2009). Sin embargo, a pesar del beneficio en la reducción de la cantidad de CO₂, el desarrollo y aplicación directa de energías renovables como suministro de energía a las estaciones de recarga implica varios retos debido a su producción intermitente de electricidad, además de un riesgo significativo de sobrecarga en los componentes de la red, pérdidas de energía y desviaciones de voltaje debido a la carga no regulada de los BEVs (Huang et al, 2012). En la Figura 7 se observa un ejemplo de una estación de recarga para vehículos eléctricos con energía solar en un estacionamiento en Connecticut, Estados Unidos.

La combinación o hibridación de diferentes fuentes de energía renovable como la combinación de la energía solar y eólica podría mejorar el suministro de energía eléctrica proveniente de una sola fuente. La energía eólica es una fuente de energía potencial que, debido a sus cualidades de abundancia y ubicuidad, es una solución prometedora para su integración en estaciones de recarga.



Figura 7. Estación de recarga de EVs con energía solar (Sepisolar, 2024).

Sin embargo, la variabilidad del viento, también influye en la producción continua de electricidad debido a su intermitencia. En la Figura 8 se observa un ejemplo de hibridación de una estación de recarga para bicicletas eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas. Otra de las alternativas es incrementar el porcentaje de generación de energía eléctrica en la matriz energética mediante energías renovables, lo cual reduciría la cantidad de emisiones contaminantes en la recarga de vehículos eléctricos.



Figura 8. Estación de recarga híbrida con energía solar/eólica (Sunningsolar, 2023).

La recolección de energías renovables y su influencia en los vehículos eléctricos

Como se mencionó anteriormente, la recolección de energía es una solución prometedora para reducir la dependencia energética de las baterías, incrementar la eficiencia energética y autonomía de los vehículos eléctricos. Existen diferentes enfoques relacionados a la recolección de energía utilizando los componentes de los vehículos eléctricos, como los frenos regenerativos, vibraciones del sistema de suspensión, diferencias de presión en neumáticos, entre otros. La recolección de energía mediante fuentes renovables, se ha utilizado principalmente la energía solar y la energía eólica. Para la energía solar, se utilizan paneles fotovoltaicos principalmente instalados en la parte superior, un arreglo de paneles de 8m^2 puede producir alrededor de 2.4 kW, sin embargo, la cantidad de muy baja si se desea suministrar energía al sistema de propulsión ya que requiere aproximadamente 100 kW (Diahovchenko et al, 2022). Uno de los retos es el espacio limitado en los vehículos eléctricos, por lo que se requieren paneles fotovoltaicos cada vez más eficientes. En la Figura 9 se observa el modelo Toyota Prius plug-in el cual tiene incorporados paneles fotovoltaicos capaces de producir una cantidad de potencia de 180 W con un ahorro de 1800 km al año.



Figura 9. Vehículo eléctrico con paneles fotovoltaicos (Toyota, 2021).

La recolección de energía eólica en vehículos eléctricos se produce mediante turbinas eólicas, las cuales pueden ser instaladas en diferentes zonas del vehículo. Las turbinas eólicas giran en función de la velocidad del vehículo debido a la inercia que se produce al estar en contacto con el aire. La cantidad de energía producida depende de varios parámetros y condiciones como el tamaño de la turbina, la velocidad de conducción, la eficiencia de la turbina eólica, el tipo de generador utilizado, entre otros. El reto de la integración de un sistema de recolección de energía eólica radica en minimizar las fuerzas de arrastre que se producen al integrar la turbina eólica de manera externa en el vehículo, por lo que es importante realizar un análisis aerodinámico para asegurar no consumir más energía o combustible de lo que se genera. En la Figura 10 se observa un ejemplo de la instalación de una turbina eólica en un vehículo, la cual produce una cantidad de potencia de aproximadamente 143 W a una velocidad de 90 km/h (Khan et al, 2021).



Figura 10. Vehículo eléctrico con turbina eólica (Khan et al., 2021).

Conclusiones

Considerando que las contaminaciones ambientales han sido una de las mayores preocupaciones del ser humano, el crecimiento tecnológico ha incrementado la necesidad de investigación en la generación de energía eléctrica mediante energías renovables. En los últimos años se ha producido un aumento significativo en el número de

vehículos eléctricos. El uso generalizado de vehículos eléctricos ha contribuido positivamente al medio ambiente. Sin embargo, las fuentes de las que se obtiene la electricidad que utilizan son importantes. Por lo que es indispensable que se obtengan de energías renovables para que su impacto sea aún mayor. En las estaciones de recarga, la integración de energías renovables para el suministro de energía es importante para disminuir las emisiones contaminantes y los costos de electricidad. Sin embargo, aun se tienen retos energéticos relacionados a la sobrecarga en los componentes de la red, pérdidas de energía y desviaciones de voltaje debido a la carga no regulada de los vehículos eléctricos. Una de las propuestas, es generar energía eléctrica aumentando el uso de energías renovables, incrementando su aportación en la matriz energética. La recolección de energía en los vehículos eléctricos mediante energías renovables es un enfoque que podría mejorar la eficiencia energética global en este tipo de vehículos, reduciendo su dependencia energética de las baterías, alargando su vida operativa y frenando el desecho y contaminación que producen. Es importante desarrollar dispositivos que sean amigables al medio ambiente y también considerando el análisis aerodinámico de fuerzas de arrastre. El potencial de la integración de las energías renovables en la recarga y funcionamiento de los vehículos eléctricos podría promover la transición hacia un panorama energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Referencias

- Alanazi, F. (2023). Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. *Applied Sciences*, 13(10), 6016.
- Al-Wreikat Y., Serrano C., & Sodre J. R. (2021). Driving behaviour and trip condition effects on the energy consumption of an electric vehicle under real-world driving," *Applied Energy*, vol. 297, p. 117096.
- Alsauskas O., Andrean G., Connell E., Huismans M., Jeong Y., Lombardo T., McDonagh S., O'Riordan V., Paoli L., Petropoulos A., Sery J., & Valentini O. (2025). *Global EV Outlook 2025*, 2025th ed. Paris, France: International

Energy Agency, 2025. [Online]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>.

Bai S. & Liu C. (2021). Overview of energy harvesting and emission reduction technologies in hybrid electric vehicles, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 147, p. 111188.

Bertinat, P. (2016). Transición energética justa. Pensando la democratización energética. Friedrich Ebert Stiftung.

Diahovchenko I., Petrichenko L., Borzenkov I., & Kolcun M. (2022). Application of photovoltaic panels in electric vehicles to enhance the range, Heliyon, vol. 8, no. 12, p. e12425.

Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2025), con mayor procesamiento por Our World in Data. Recuperado de: <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution>

Huang S., Safiullah H., Xiao J., Hodge B.-M. S., Hoffman R., Soller J., Jones D., Dininger D., Tyner W. E., Liu A., & Pekny J. F., (2012). The effect of electric vehicles on residential households in the city of Indianapolis,” Energy Policy, vol. 49, pp. 422–455.

IEA. (2022). The Global energy crisis. Obtenido en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/the-global-energy-crisis>

IEA. (2023). Pathways for the energy mix. Obtenido en: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/pathways-for-the-energy-mix>

International Energy Agency, (2024), World Energy Outlook. Obtenido en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>

International Renewable Energy Agency - IRENA. (2025). El crecimiento anual de la capacidad de generación de energías renovables bate records. IRENA. Recuperado de: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2025/Mar/Record-Breaking-Annual-Growth-in-Renewable-Power-Capacity-ES>

Khan Z. A., Sherazi H. H. R., Ali M., Imran M. A., Rehman I. U., & Chakrabarti P. (2021). Designing a wind energy

harvester for 1684 connected vehicles in green cities, Energies, vol. 14, no. 17, p. 5408.

Markel T., Kuss M., & Denholm P., (2009). Communication and control of electric drive vehicles supporting renewables,” in Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Dearborn, Michigan, pp. 27–34.

Masuch N., Keiser J., Lutzenberger M., & Albayrak S. (2012). Wind poweraware vehicle-to-grid algorithms for sustainable EV energy management systems,” in Proc. IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), Greenville, South Carolina, pp. 1–7.

Ritchie H. and Rosado P. (2020). “Energy Mix”. Obtenido en: <https://ourworldindata.org/energy-mix>

SENER. (2023). Balance Nacional de Energía 2023. Obtenido en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/filer/977268/Balance_Nacional_de_Energ_a_2023.FINAL06.02.2025.1.pdf

Sepisolar. (2024). Main St Solar Carport, West Hartford, CT, <http://cleanfuelconnectionnews.com/electric-vehicles/solar-power-for-electric-vehicles/>, posted on: 2012-02-20.

Shirole, A., Wagh, M., Kulkarni, V., & Patil, P. (2023). Short-term energy scenario of district energy system using optimised renewable energy mix with and without energy storage. Results in Engineering, 18, 101017.

Sunningsolar. (2023). Recuperado de: <http://www.sunningsolar.com/page55.html> (accessed on 9 October 2023).

Toyota. (2021). Así funciona la tecnología solar que incorpora el nuevo Toyota Prius Plug-in Hybrid. Recuperado de: <https://toyotacvi.com.co/2021/02/12/asi-funciona-la-tecnologia-solar-que-incorpora-el-nuevo-toyota-prius-plug-in-hybrid/>

United States, Environmental Protection Agency, Office of Energy. (2017). Efficiency and Renewable Energy, Where the energy goes: electric cars. Available: <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>



DANIEL ARTURO MACIEL FUENTES. (M. en C.)

Es Ingeniero en Sistemas Automotrices egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), unidad Culhuacán y maestro en Ingeniería Industrial, egresado de la Unidad Profesional de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA), ambas unidades del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es estudiante del Doctorado en Energía de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), unidad Culhuacán. Se enfoca en el estudio de nuevas tecnologías y energías renovables aplicadas a la movilidad y transporte, especialmente vehículos eléctricos. Tiene un interés en el desarrollo y estudio de nuevas tecnologías aplicadas a la energía eólica para la generación de energía eléctrica. También en estudiar aspectos vinculados al desarrollo y aplicación de energías renovables en la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos, planeación y optimización de instalaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías de propulsión aplicadas a automóviles. También, tiene el interés en el diseño, desarrollo y aplicación de simulaciones de dinámica de fluidos computacionales en sistemas para generación de energía. Fue premiado como mejor desempeño académico de posgrado 2021 del Instituto Politécnico Nacional.

Advances in Nuclear Fission

The most significant advances in nuclear fission focus on making reactors smaller, safer, and more efficient to meet surging electricity demand from AI and data centers. Current breakthroughs are shifting the industry from massive, custom-built plants toward factory-manufactured designs and advanced cooling methods.

Key Technological Advances

Small Modular Reactors (SMRs): These are compact reactors with capacities between 10 MW and 300 MW. Unlike traditional plants, they are designed to be factory-built and transported to sites, which significantly reduces construction time and financial risk.

Microreactors: Even smaller than SMRs (under 10 MW), these "nuclear batteries" are being developed for remote communities, military bases, and disaster response.

Advanced Coolants: Moving beyond water, new designs use liquid sodium, molten salts, or helium gas.

Molten Salt Reactors (MSRs): Use fluid fuel that can't melt down in the traditional sense, producing shorter-lived waste.

Sodium-Cooled Fast Reactors (SFRs): Operate at higher temperatures and lower pressures, improving safety. Bill Gates' TerraPower is currently building a 345 MWe SFR in Wyoming.

TRISO Fuel: These "accident-tolerant" fuels consist of tiny uranium kernels wrapped in ceramic layers that contain radiation even under extreme heat, virtually eliminating the risk of a meltdown.

Strategic & Economic Shifts

AI & Data Center Demand: Tech giants like Amazon, Google, and Microsoft are signing major power-purchase agreements to restart old plants (e.g., Three Mile Island) or fund SMR development to provide 24/7 carbon-free power.

Repurposing Coal Plants: The U.S. Department of Energy estimates that over 80% of retired coal plants could be converted to house advanced nuclear reactors, reusing existing turbine and grid infrastructure.

Thermal Energy Storage: New designs pair reactors with molten salt or "firebrick" storage. This allows the reactor to run at a steady state while storing excess heat to be converted to electricity only when demand peaks, better complementing wind and solar.

What is Nuclear Fusion?

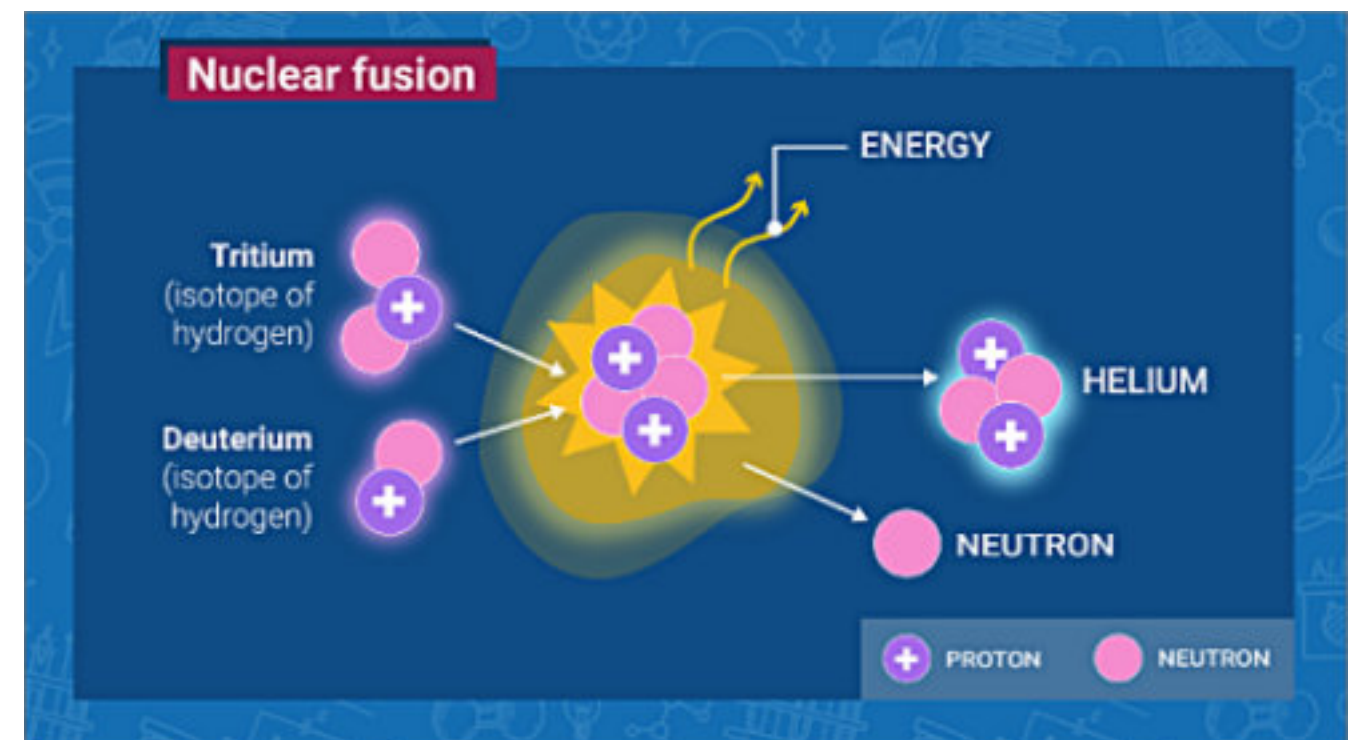
Nuclear fusion is the process by which two light atomic nuclei combine to form a single heavier one while releasing massive amounts of energy. Fusion reactions take place in a state of matter called plasma — a hot, charged gas made of positive ions and free-moving electrons with unique properties distinct from solids, liquids or gases.

Nuclear fusion is the process by which two light atomic nuclei combine to form a single heavier one while releasing massive amounts of energy.

Fusion reactions take place in a state of matter called plasma — a hot, charged gas made of positive ions and free-moving electrons with unique properties distinct from solids, liquids or gases.

The sun, along with all other stars, is powered by this reaction. To fuse in our sun, nuclei need to collide with each other at extremely high temperatures, around ten million degrees Celsius. The high temperature provides them with enough energy to overcome their mutual electrical repulsion. Once the nuclei come within a very close range of each other, the attractive nuclear force between them will outweigh the electrical repulsion and allow them to fuse. For this to happen, the nuclei must be confined within a small space to increase the chances of collision. In the sun, the extreme pressure produced by its immense gravity creates the conditions for fusion.

<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion>



Understand Nuclear Fission

Significance: Nuclear energy accounts for 9% of the world's electricity generation and provides over 20% of the world's carbon-free electricity. In the United States, nuclear provides 18% of overall electricity generation and nearly 45% of carbon-free electricity. The U.S. has the most nuclear reactors—almost double that of any other country—and generates about 30% of global nuclear electricity.

While the U.S. produces the most nuclear electricity, France has the highest penetration, with nuclear providing more than two-thirds of its electricity generation. Slovakia, Ukraine, and Hungary also rely heavily on nuclear energy, getting about half of their electricity from it. Prior to the Fukushima accident in 2011, nuclear energy provided almost 30% of Japan's electricity. It now provides just 8%.

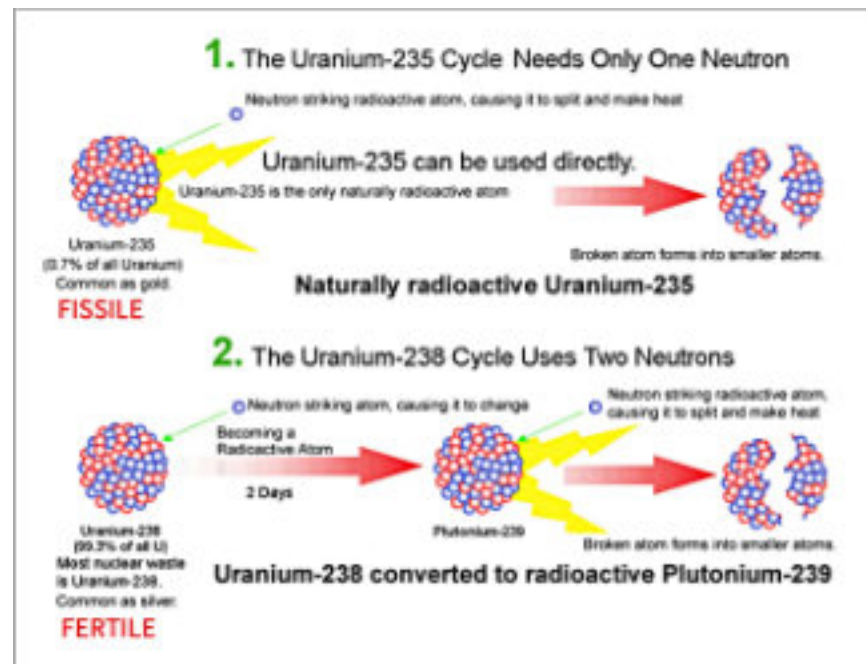
What is nuclear energy? Nuclear reactions harness the power of the atom to produce large amounts of energy in the form of heat. Nuclear energy comes in two broad categories:

- Nuclear fission occurs when a large atom is split into smaller atoms, producing lots of heat and radiation.
- Nuclear fusion occurs when two nuclei combine to form a single nucleus, releasing massive amounts of heat.

The roots of nuclear energy come from defense research on the atomic bomb in the 1940s. Atomic bombs use fission. Hydrogen bombs use a combination of fission and fusion to make them more powerful.

All commercial nuclear power plants today use fission. Fusion is still in the research phase for energy production.

<https://understand-energy.stanford.edu/news/understand-nuclear-fission>



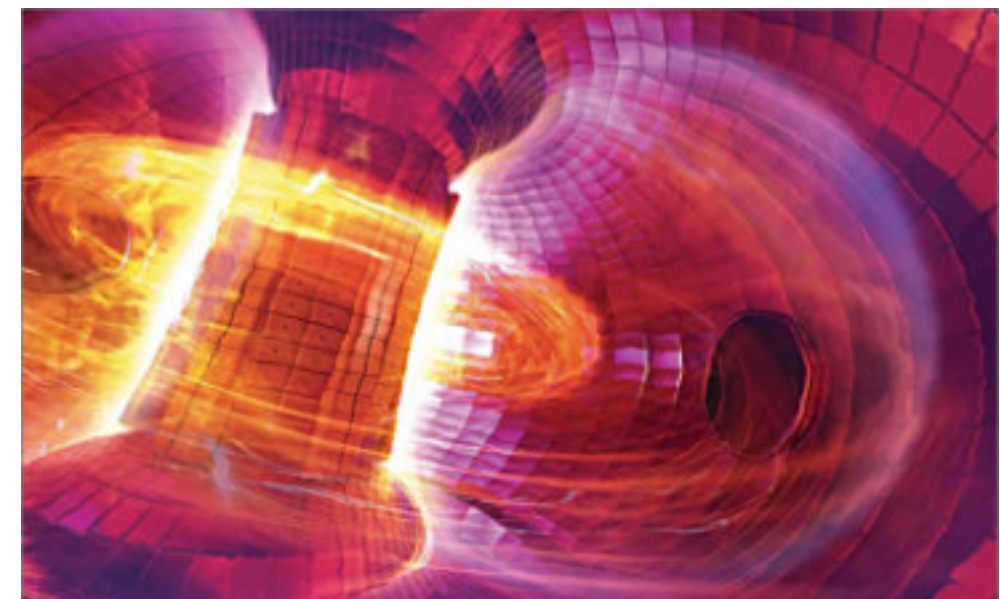
What Is the Future of Fusion Energy?

Last December physicists working on fusion claimed a breakthrough. A team at the National Ignition Facility (NIF) in California announced it had extracted more energy from a controlled nuclear fusion reaction than had been used to trigger it. It was a global first and a significant step for physics—but very far from enabling practical exploitation of fusion as an energy source. The high-profile announcement elicited a familiar pattern of responses to fusion research: acclaim from boosters of the technology and dismissals from skeptics, who complain that scientists continually promise that fusion is just 20 years away (or 30 or 50, take your pick).

These fervent reactions reflect the high stakes for fusion. The world is increasingly desperate for an abundant source of clean energy that can mitigate the climate crisis created by burning fossil fuels. Nuclear fusion—the merging of light atomic nuclei—has the potential to produce energy with near-zero carbon emissions, without creating the dangerous radioactive waste associated with today's nuclear fission reactors, which split the very heavy nuclei of radioactive elements. Physicists have been studying fusion power since the 1950s, but turning it into a practical energy source has remained frustratingly elusive. Will it ever be a significant source of power for our energy-hungry planet—and if so, will it arrive in time to save Earth from meltdown?

The latter question is one of the few in this field to which there is a clear answer. Most experts agree that we're unlikely to be able to generate large-scale energy from nuclear fusion before around 2050 (the cautious might add on another decade). Given that the global temperature rise over the current century may be largely determined by what we do—or fail to do—about carbon emissions before then, fusion can be no savior. (Observatory columnist Naomi Oreskes also makes this point here.) "I do think fusion looks a lot more plausible now than it did 10 years ago as a future energy source," says Omar Hurricane, a program leader at Lawrence Livermore National Laboratory, where the NIF is housed. "But it's not going to be viable in the next 10 to 20 years, so we need other solutions."

<https://www.scientificamerican.com/article/what-is-the-future-of-fusion-energy/>



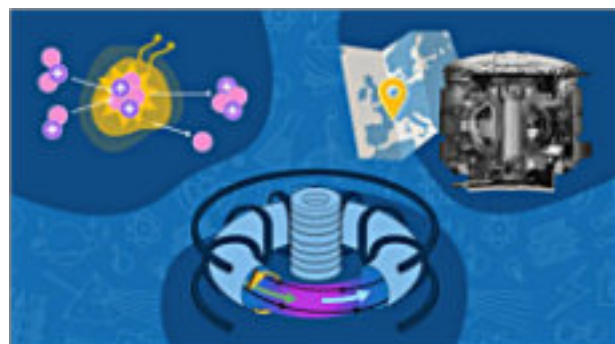
Nuclear Fusion Power

- > Fusion power offers the prospect of an almost inexhaustible source of energy for future generations, but it also presents so far unresolved engineering challenges.
- > The fundamental challenge is to achieve a rate of heat emitted by a fusion plasma that exceeds the rate of energy injected into the plasma.
- > The main hope is centred on tokamak reactors and stellarators which confine a deuterium-tritium plasma magnetically.

Today, many countries take part in fusion research to some extent, led by the European Union, the USA, Russia and Japan, with vigorous programmes also under way in China, Brazil, Canada, and Korea. Initially, fusion research in the USA and USSR was linked to atomic weapons development, and it remained classified until the 1958 Atoms for Peace conference in Geneva. Following a breakthrough at the Soviet tokamak, fusion research became 'big science' in the 1970s. But the cost and complexity of the devices involved increased to the point where international co-operation was the only way forward. The Fusion Industry Association report The Global Fusion Industry in 2022 said that \$2.83 billion of new investment was declared by private nuclear fusion companies since the 2021 edition of the report.

Fusion powers the Sun and stars as hydrogen atoms fuse together to form helium, and matter is converted into energy. Hydrogen, heated to very high temperatures changes from a gas to a plasma in which the negatively-charged electrons are separated from the positively-charged atomic nuclei (ions). Normally, fusion is not possible because the strongly repulsive electrostatic forces between the positively charged nuclei prevent them from getting close enough together to collide and for fusion to occur. However, if the conditions are such that the nuclei can overcome the electrostatic forces to the extent that they can come within a very close range of each other, then the attractive nuclear force (which binds protons and neutrons together in atomic nuclei) between the nuclei will outweigh the repulsive (electrostatic) force, allowing the nuclei to fuse together. Such conditions can occur when the temperature increases, causing the ions to move faster and eventually reach speeds high enough to bring the ions close enough together. The nuclei can then fuse, causing a release of energy.

<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-fusion-power>



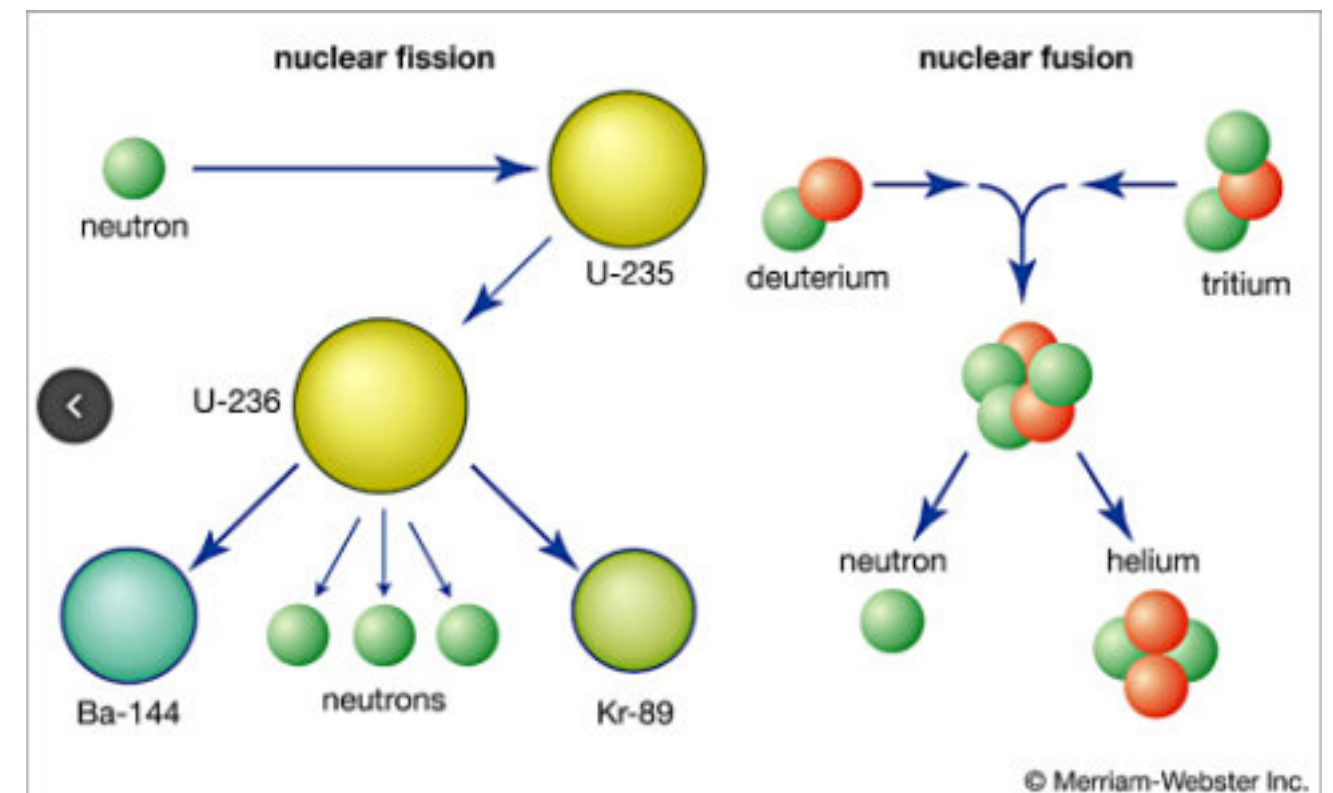
Explainer: Advanced nuclear technologies and their role in the energy transition

Nuclear energy is experiencing a renaissance but concerns around safety and cost remain. Advanced nuclear technologies can help address these concerns but some are only in the early stages of realization. Scaling advanced energy solutions could support the energy transition.

Nuclear energy's role in achieving a net-zero future, amongst other clean energy sources, has been a contentious issue. As energy demand is projected to increase, particularly the demand for 24/7 clean power, nuclear energy is undergoing a renaissance as countries and industries realize that renewable sources alone won't be able to meet this demand.

Nuclear energy produces about 10% of the world's electricity, according to the International Energy Agency (IEA). It generates more carbon-free power than wind and solar combined. However, some still have concerns about safety and cost. Another big challenge with nuclear power is managing its waste. Spent fuel is radioactive for thousands of years but can be effectively stored in containers underground or above ground.

<https://www.weforum.org/stories/2024/10/advanced-nuclear-technologies-energy-transition/>



El petróleo precolombino. Los arahuacos de la cuenca del Caribe. I parte.

Rafael Tenreyro Perez

Colaborador de la Revista

Introducción

Los aborígenes de las Antillas pertenecieron a la rama de los pueblos arahuacos con una amplia distribución geográfica original desde las fuentes del Paraguay a las costas de la Florida.¹ Llegaron las islas caribeñas desde las regiones equinocciales de Sudamérica. Allí, no era difícil encontrar bitumen en la superficie, en el norte de Venezuela, como Cubagua o Margarita; en el lago de asfalto de Guanoco, estado Sucre, en las orillas del lago Maracaibo, en los numerosos rezumaderos a todo lo largo del río Orinoco y en varios puntos de Colombia. El petróleo era recolectado en manaderos que recibían la denominación genérica de "mene". Los arahuacos, profundos conocedores de la naturaleza, le dieron al petróleo diversos usos desde medicinales hasta utilitarios. Lo aprovecharon, en diferentes tareas de su vida cotidiana. Pero, sobre todo, en una actividad muy importante: la impermeabilización de las canoas.

A su llegada a América, causó mucho asombro entre los españoles, los barcos hechos de un solo tronco (monóxilos), capaces de albergar hasta cuarenta o cincuenta remeros. Los arahuacos eran verdaderos expertos en la construcción y manejo de estas embarcaciones, cuya longitud promedio era de doce metros. La nave, perfectamente impermeabilizada con bitumen,² tenía popa aplanada y proa elevada. El trabajo artesanal era culminado con una "mabuya" (animal mitológico) esculpida en la quilla para asustar a los enemigos. Las canoas que tenían larga vida y duración transitando por los ríos caudalosos de Sudamérica, sufrían al navegar en el mar. En condiciones de agua salada comenzaban a aparecer fracturas provocadas por los esfuerzos adicionales que provocan las olas y corrientes,³ y la propia salinidad. Para las largas travesías marítimas

entre islas, era menester tener a mano un poco de material que permitiera rápidamente sellar las fracturas que aparecían en el medio de un trayecto, evitando de tal suerte el naufragio.

Petróleo en el norte de Sudamérica

Desde antes de la llegada de los españoles, los pueblos originarios de Venezuela y Colombia, ya utilizaban petróleo crudo y el asfalto natural que rezumaba natural y abundantemente en la superficie. El líquido negro y espeso se utilizaba principalmente para labores domésticas, artesanales, medicinales, como fuente de iluminación, y para la consabida impermeabilización de canoas.⁴ Los europeos no tardaron en aprender de los pueblos indígenas su uso de manera natural, para la iluminación, calafateo en sus naves o barcos y para el mantenimiento de sus armas y municiones.⁵

El primer envío de petróleo a Europa documentado, ocurrió en 1539. Se trató de un barril de esa sustancia destinado a aliviar la enfermedad del emperador Carlos I. El cronista del Nuevo Mundo, capitán Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, hace mención del petróleo venezolano, en 1535: **"escribo de otra fuente de betún o cierto licor que hay en la isla de Cubagua, o isla de las Perlas, que cada una destas fuentes en su especie y manera son maravillosas y muy notables"**. Fernández de Oviedo menciona otra fuente de petróleo en el continente, sin ubicar exactamente el lugar: **"Otro lago de betum está en la provincia de Venezuela."**⁶

Al año siguiente, llegó la orden de España, en carta fechada el 3 de septiembre, que en todos los navíos que partieren desde Cubagua le enviaran **"de lo más que pudieres"**,⁷ de aceite de petróleo, con fines medicinales. Un envío comprobado documentalmente es el del 30 de abril de 1539. Una barrica salió en la nao "Santa Cruz", confiada por el tesorero de Nueva Cádiz, don Francisco de Castellanos, al mestre Francisco Rodríguez de Covarrubia y al capitán Bernardino de Fuentes. El 18 de octubre, la Reina reclamó su petróleo, en carta a la Casa de Contratación. El 31, la barrica salió de Sevilla para Madrid, bajo custodia de Alonso García, un arriero de la Cuerva.

Asimismo, en los Archivos de Indias de Sevilla se menciona que el 14 de diciembre de 1540, otra barrica de petróleo de Cubagua llegó a la Casa de Contratación, para ser enviado de inmediato a la Reina, **"al cuidado de persona de responsabilidad"**.⁸ Probablemente éste fue uno de los últimos envíos a través de Cubagua y los otros vecindarios de la isla el día de navidad de 1541. Posteriormente, el 15 de junio de 1579, los alcaldes Gaspar de Párraga y Rodrigo de Argüelles informaron sobre un rezumadero de petróleo cerca de la ciudad Nueva Zamora (Maracaibo) y de cuatro más en las afueras de la ciudad. También ofrecieron una extensa descripción de los usos locales de esta sustancia.⁹

En el territorio que hoy ocupa Colombia, los indios utilizaron el petróleo con fines medicinales, para encender sus antorchas y fogatas, y el asfalto semilíquido para sus embarcaciones. De nuevo Fernández de Oviedo nos entrega la crónica: **"Otro pozo hay de betum en la gobernación del Nuevo Reino de Granada, en la tierra de los indios bravos que llaman Panches."**¹⁰ Los panches, especialmente rebeldes y tenaces, ocupaban un territorio en la parte alta del valle del Río Magdalena. A resaltar los abundantes rezumaderos al sureste de Barrancabermeja (Santander del Sur). En 1536, Gonzalo Jiménez de Quesada en su viaje río arriba por el Magdalena llegó a estas regiones y les dio el nombre de "Infantas" en honor a las hijas de los reyes españoles.¹¹



El lago de asfalto de la isla de Trinidad

En la isla de Trinidad, a unas cincuenta y cinco millas de la ciudad capital Puerto España, se encuentra la villa de La Brea. La locación es famosa por su lago de asfalto el cual es, sin lugar a dudas, uno de los mayores del mundo. En América, es uno de los tres más importantes, seguido del lago La Brea de California y el lago Guanoco de Venezuela. Lo curioso de este lago trinitario es que se llena de nuevo, luego de la explotación. Se estima que tiene aún entre seis y diez millones de toneladas, lo que al ritmo actual de explotación alcanza para cuatrocientos años.¹² Los residentes locales se refieren a este tesoro cómo la octava maravilla del mundo. El lago fue descrito por Sir Walter Raleigh y otros en 1595, quien al visitar el lago le llamo **"el bien más excelente"**.¹³

El lago fue explotado durante doscientos años por los españoles, mientras la isla fue su colonia y, luego, por los ingleses y norteamericanos. El material se ha utilizado para asfaltar caminos, como impermeabilizante, en la construcción, como sellante de alta calidad y otros muchos usos. Las investigaciones arqueológicas en los alrededores del lago demuestran la presencia de asentamientos humanos desde quinientos años antes de nuestra era. Algunos artefactos conservados en el lago sugieren ser aún más antiguos.¹⁴

GEOLOGIA Y BELLAS ARTES: LA TIERRA COMO FUENTE DE INSPIRACIÓN CULTURAL Y CREATIVA

PARTE 2. Música, Danza, Literatura y Cine

Jesus S. Porras M.

Consultor Independiente

INTRODUCCION

En esta segunda parte se explora la relación entre la geología y diversas manifestaciones artísticas de carácter escénico y narrativo, como la música, la danza, la literatura y el cine.

A diferencia de las artes visuales, como la arquitectura, escultura y pintura, analizadas en la primera entrega, estas expresiones no utilizan directamente materiales geológicos, pero sí encuentran en la Tierra una fuente constante de inspiración. Los paisajes naturales, los fenómenos geológicos y el concepto de tiempo profundo han estimulado siempre la imaginación de compositores, coreógrafos, escritores y cineastas, quienes transforman estos elementos en sonidos, movimientos, relatos e imágenes.

La geología es el principio creativo que moldea estas artes: dicta el ritmo de la música y la danza a través de la acústica y el relieve, mientras que en la literatura y el cine convierte al paisaje y los fenómenos geológicos en protagonistas que definen el destino, la trama y la psicología de las historias. En esencia, la Tierra no es un escenario pasivo, sino una fuerza objetiva que transforma los fenómenos geológicos en emoción y cultura e imaginación.

De este modo, la geología también se proyecta en el ámbito cultural como un tema que inspira nuevas formas de creación y de interpretación del mundo natural.

LA GEOLOGÍA EN LA MÚSICA, LA DANZA, LA LITERATURA Y EL CINE

La influencia de la geología no se limita a los materiales o a los paisajes representados en las artes visuales. También se extiende a otras formas de expresión cultural como la música, la literatura, el cine y la danza. En estos ámbitos, los paisajes naturales, los procesos de la Tierra y la idea del tiempo geológico profundo se convierten en motivo de inspiración para historias, sonidos, metáforas y movimientos.

Mientras la geología estudia el paisaje mediante mapas, rocas y formas del relieve, el arte lo interpreta y lo transforma en imágenes, relatos, música o experiencias escénicas. Fenómenos como volcanes, terremotos, fósiles, dinosaurios o desiertos aparecen con frecuencia en canciones, novelas y películas. Del mismo modo, algunas propuestas artísticas exploran la relación entre el movimiento del cuerpo y la dinámica de la Tierra.

Así, la geología también entra en el terreno de la imaginación y la creatividad, permitiendo que procesos naturales complejos se comprendan y se expresen a través del arte.

MÚSICA

Aunque la música no utiliza siempre rocas como soporte artístico visual, la geología ha sido una motivación permanente. Imitar con sonidos fenómenos de la naturaleza es una forma de representar, a través de la música, procesos geológicos como el vulcanismo, la sismicidad o la dinámica terrestre.

El geólogo y artista Daniel F. Merriam en su trabajo "Geology and Music" (2012) señala que la geología y la música comparten elementos como ritmo, estructura y repetición. Muchos procesos geológicos, tales como la sedimentación o los ciclos naturales, pueden compararse con las secuencias y variaciones presentes en una composición musical. Esta analogía permite interpretar la geología de forma más intuitiva y muestra cómo la ciencia y el arte pueden conectarse a través de patrones y formas comunes.

Siegesmund & Snethlage (2014) señalan que los materiales geológicos intervienen indirectamente en la fabricación de instrumentos y en la acústica de espacios construidos en piedra, donde la reflexión y absorción sonora dependen de propiedades físicas del material.

¹Tabio, Ernesto y Rey, Estrella. 1985. "Prehistoria de Cuba". Editorial de Ciencias Sociales, La Habana.

²Rouse, Irving. 1948. "The Arawak and the Carib?". In: Handbook of South American Indians. Julian Steward, ed. Bureau of American Ethnology Bulletin 134 (4) : 507-565. Smithsonian Institution: Washington, D.C. pag. 553.

³Billard, J-Y., Bernard, B., Ramstein B., 2009, "Apport de l'hydrostatique à l'archéologie expérimentale: Etude d'une pirogue de haute mer (Kanawa)." 19ème Congrès Français de Mécanique Marseille, 24-28 août 2009

⁴Rouse, Irving. 1948. Op Cit.

⁵Forlan R.J. 1955. "Studies in ancient Technology." Vol. 1 Bitumen and petroleum in Antiquity. Brill Archive, - 194 páginas

⁶Fernández de Oviedo y Valdés, Gonzalo. 1553. "Historia general y natural de las Indias. Tomos I-V." Imprenta de la Real Academia de Historia, Madrid, 1851-1855.

⁷Fernández de Oviedo y Valdés, Gonzalo. 1535, Op. Cit.

⁸Mártir de Anglería, Pedro. 1511. "De orbe novo decades octo (Sevilla, 1511), redactadas desde 1501. Fuentes históricas sobre Colón y América" (Décadas del Nuevo Mundo). Instituto de Historia, Madrid, 1892.

⁹Las Casas, Fray Bartolomé de. 1550. "Historia de las Indias". Escrita por Fray Bartolomé de las Casas. Obispo de Chiapas. Ahora por primera vez dada a luz por el Marques de la Fuentesanta del Valle y Don José Sancho Rayón. Madrid Imprenta de Miguel Ginesta. Calle de Campomanes Numero 3. 1875

¹⁰Fernández de Oviedo y Valdés, Gonzalo. 1535, Op. Cit.

¹¹Cury Lambrão, José Elías "Costeñol versus español." <http://www.banrep.gov.co/blaavirtual/letra-c/cost/dedi.htm>

¹²Olsen, Fred. 1974. "On the Trail of the Arawaks". Norman, Oklahoma: University of Oklahoma Press.

¹³Ministry of Energy and Energy Trinidad Tobago. "100 Years of Petroleum in Trinidad and Tobago" pag 144

¹⁴"A geological wonder" <https://www.liverpoolmuseums.org.uk/pitch-lake-trinidad-geological-wonder-mined-asphalt>



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

Materiales y Escenarios

Desde la antigüedad, las cuevas y cavernas, incluyendo acantilados, valles y formaciones rocosas, han servido como espacios acústicos naturales para la música. Muchos se encuentran esparcidos por todo el mundo.

El Red Rocks Amphitheatre es un ejemplo notable de la relación entre geología y música. Este singular anfiteatro natural, ubicado cerca de Morrison, Colorado, está esculpido en areniscas rojizas de la Formación Fountain, de edad pensilvánica tardía (aprox. 290–340 Ma), cuyas capas se inclinan entre 25 y 30° hacia el este, creando un escenario geológico espectacular.



Figura 1. Vista aérea del Red Rocks Amphitheatre (Colorado, EE. UU.), un icónico escenario al aire libre integrado por formaciones rocosas rojizas cuya disposición genera una acústica natural excepcional.

El recinto está delimitado lateralmente por dos grandes monolitos de paredes empinadas, mientras que detrás del escenario otros dos monolitos menores marcan el límite oriental del anfiteatro. La forma del lugar es el resultado de la erosión natural a lo largo de las líneas de drenaje que atraviesan las capas de arenisca, proceso que dio origen a esta singular configuración del relieve, semejante a un gran anfiteatro al aire libre. El sitio combina una acústica excepcional y con un paisaje monumental, donde las rocas se integran con la arquitectura, creando uno de los espacios escénicos más emblemáticos del mundo.

Otros escenarios naturales donde la geología crea espacios propicios para espectáculos musicales son: The Gorge Amphitheatre (Washington), situado sobre un cañón excavado en basaltos del río Columbia; y el Dalhalla Amphitheatre (Suecia), instalado en una antigua cantera de caliza con excelente acústica natural. También destacan

espacios históricos integrados al paisaje rocoso, como la Arena di Verona y el Teatro Antico di Taormina, este último con vistas al Monte Etna.

Estos ejemplos muestran cómo el relieve y las rocas pueden convertirse en escenarios naturales para la música y las artes.

Instrumentos Musicales

El uso de rocas en la fabricación de instrumentos musicales, conocido como litofonía, crea sonidos únicos mediante piedras sonoras golpeadas, frotadas o percutidas. Abarca desde las formas más primitivas de percusión (gongs prehistóricos) hasta complejas innovaciones modernas. La roca volcánica fonolita o “piedra sonora” deriva su nombre por producir un sonido metálico o resonante al golpearse.

Entre los instrumentos vinculados a materiales geológicos destacan los “Dan da”, litófonos vietnamitas ancestrales, elaborados con lajas de piedra de diversos tamaños, dispuestas sobre una estructura y afinadas. (<https://vovworld.vn/es-ES/54-nacionalidades-vietnamitas/original-instrumento-musical-de-etnicos-262258.vov>).

En el País Vasco, el grupo Oreka TX innovó al crear una “txalaparta” de pizarra, transformando ese instrumento de percusión de madera en una versión lítica (<https://culturacientifica.com/2023/08/17/la-musica-de-las-rocas/>).



Figura 2. Componentes de una adaptación lítica de la “txalaparta”, instrumento tradicional de percusión del País Vasco en la que las tablas de madera, del instrumento original, fueron reemplazadas por lajas de pizarra.

También sobresalen el “Ghatam” y el “Mridangam”, instrumentos de percusión tradicionales de la India fabricados originalmente con arcilla.

Dentro del grupo de instrumentos musicales de viento (aerófonos) fabricados con materiales geológicos están las

ocarinas prehistóricas y las vasijas silbadoras de la cultura Tumaco (Colombia), aunque fabricados con arcilla y cerámica.

En la localidad alicantina de Novelda, el órgano inconcluso del Santuario de Santa María Magdalena, posee tubos tallados en mármol Rojo de Alicante, roca extraída de los alrededores.

(<https://culturacientifica.com/2023/08/17/la-musica-de-las-rocas/>)

Corbi Sevilla et al. (2016) describen un taller universitario interdisciplinario desarrollado para explorar el sonido desde una perspectiva geológica. La propuesta se centró en el uso de litófonos, instrumentos hechos con rocas que producen sonidos al ser golpeadas, para explorar las propiedades físicas y acústicas de los materiales geológicos, como su composición, densidad y elasticidad. A partir de esta experiencia, los participantes no solo aprendieron conceptos básicos de geología, sino que también desarrollaron una percepción sensorial del sonido y del entorno natural.

Obras y Proyectos Musicales

La geología también ha sido un elemento promotor en la composición de obras instrumentales, en la creación de letras de canciones, en festivales, recitales y hasta en los nombres de bandas y proyectos musicales de muy diversos estilos.

A lo largo de la historia, diversos compositores han encontrado en la geología y el paisaje natural poderosos recursos expresivos. A través de la música programática, han logrado traducir procesos geológicos y grandes escenarios naturales en lenguaje sonoro, convirtiendo la historia de la Tierra en experiencia musical. Estas obras no solo describen paisajes, sino que interpretan su dinámica, su escala temporal y su significado cultural.

El compositor Jeffrey Nyth creó en 2013 la sinfonía “Formations” por encargo de la Geological Society of America. La obra narra, en lenguaje musical, la formación de las Montañas Rocosas, desde los orígenes del continente hasta la última Edad de Hielo, incorporando también una reflexión sobre la relación entre el ser humano y la Tierra. Nyth señala que la historia geológica es “musical”, porque las rocas y procesos se repiten y transforman como los temas en una composición. Por ello, estructuró la sinfonía seleccionando episodios clave, traduciendo procesos geológicos en sonidos y adaptando el orden de los eventos según necesidades artísticas.

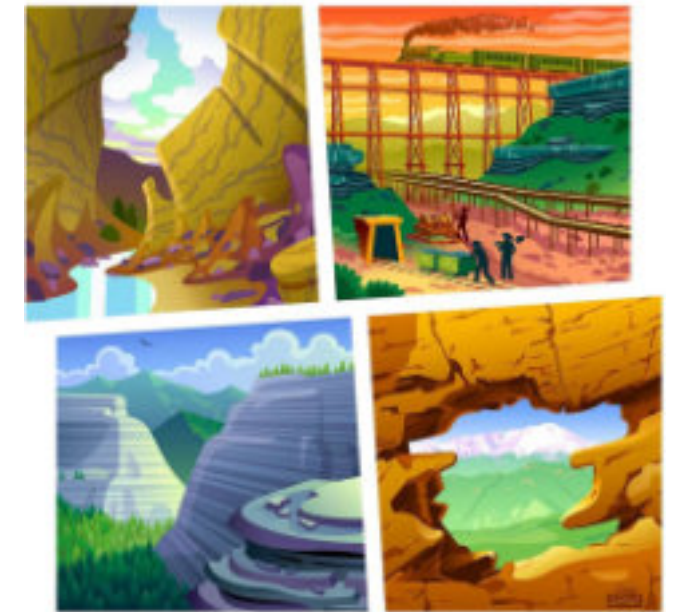


Figura 3. La Sinfonía No. 1 “Formations”, del compositor Jeffrey Nyth es una obra orquestal inspirada en los procesos geológicos que dieron origen a las Montañas Rocosas, desde su basamento antiguo hasta su modelado glaciar reciente. Fue estrenada en 2013 por encargo de la GSA. (<https://www.jeffreynyth.com/formations#:~:text=1:%20Formations,drive%20our%20modern%20society>)

Bedřich Smetana, uno de los principales representantes del nacionalismo musical checo en el siglo XIX, integra historia, paisaje y cultura de Bohemia dentro del lenguaje sinfónico y operístico. Su composición más emblemática es el ciclo de poemas sinfónicos “Má vlast”, especialmente la pieza “Vltava”, donde representa musicalmente el curso del río Moldava como símbolo de identidad nacional. La obra es un ejemplo destacado de música programática, donde el paisaje natural se convierte en experiencia sonora.

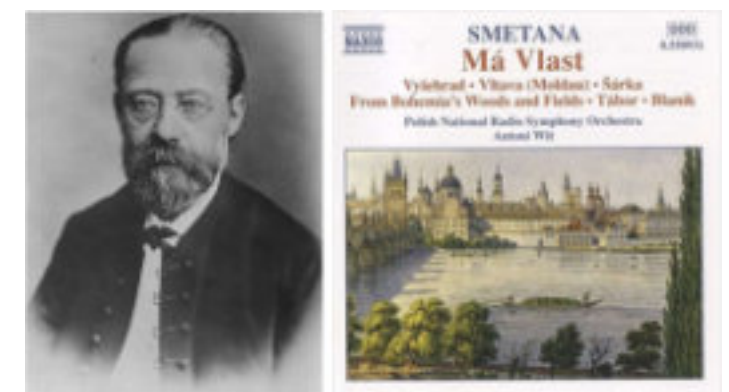


Figura 4. Retrato de Bedřich Smetana junto a la portada de Má Vlast (Mi patria), conjunto de poemas sinfónicos que evocan paisajes, historia y elementos naturales de Bohemia.

Ferde Grofé el compositor estadounidense conocido por transformar paisajes naturales en música programática, en “Grand Canyon Suite”, su obra más famosa, describe musicalmente distintos momentos del Gran Cañón. También compuso la Mississippi Suite, Niagara Falls y la Death Valley Suite, inspiradas en grandes paisajes de Estados Unidos. Su música se caracteriza por una orquestación descriptiva y evocadora (Merrian, 2012).



Figura 5. Portadas de dos de las obras distinguidas del compositor estadounidense Ferde Grofé, dedicadas a paisajes emblemáticos de Estados Unidos.

La Universidad de Zaragoza junto con Enchanted Music ha desarrollado una propuesta innovadora denominada Geomusic, que transforma datos científicos sobre cambios climáticos, obtenidos de columnas estratigráficas, en composiciones musicales. Mediante un programa informático, la información geológica se convierte en sonidos y se organiza en una partitura que sirve de base para la obra (<https://www.musicasencantadas.com/en/other-works/music-and-geology/>)

Según Ezquerro y Simón (2019), la comprensión científica de la Tierra puede complementarse mediante el arte a través de la “sonificación” de series sedimentarias, convirtiendo datos como litología o espesor de estratos en notas y duraciones musicales. Con este método han creado 14 composiciones basadas en sucesiones de la Península Ibérica, algunas vinculadas a ciclos climáticos estudiados por la cicloestratigrafía.

Corbí y Villanueva Marañón (2015) proponen una mirada innovadora que integra arte, geología y experimentación sonora. Los autores exploran cómo la piedra, tradicionalmente vista como material escultórico, puede también convertirse en fuente de sonido y medio de expresión artística, dando lugar a la llamada escultura sonora. Desde esta perspectiva, las propiedades geológicas de las rocas, como su origen, composición,

textura y estructura, influyen directamente en sus cualidades acústicas.

Grupo Musicales y Bandas, Canciones y Álbumes

Bandas y Grupos Musicales

La geología ha sido un estímulo absoluto en la música, tanto en los nombres de bandas como en títulos de canciones y álbumes. Muchos artistas adoptan términos geológicos para evocar fuerza, antigüedad, transformación o identidad. En los nombres de bandas, aparecen referencias directas a procesos y materiales de la Tierra: conceptos estructurales como Rift, Fracture o Structure; fenómenos naturales como Earthquake, Volcano, Lava o Magma; materiales como Quartz, Diamonds o Lapis Lazuli; y paisajes como Badlands o Great Rift. También abundan alusiones paleontológicas, especialmente a dinosaurios y fósiles, como en T.Rex, Dinosaurs, Trilobite o Mastodon, que evocan tiempo profundo y prehistoria.

Muchos grupos musicales han adoptado nombres inspirados en conceptos geológicos, que sugieren procesos naturales, materiales o formas de vida del pasado. Esta numerosa presencia de términos muestra cómo el vocabulario de las geociencias también forma parte del imaginario cultural y artístico contemporáneo. Una larga lista de bandas con nombres que aluden a la geología se muestra en la tabla 1.

Títulos y Letras de Canciones, Álbumes

En lo que respecta a títulos de canciones y álbumes, la presencia geológica es aún más explícita. Obras como “Journey to the Centre of the Earth” de Rick Wakeman traducen imaginarios científicos en experiencias sonoras. Otras piezas incorporan términos como Carboniferous, Pyroclastics, Faultline o Red Clay, mientras que propuestas como Music for Stationary Trilobites de Jon Martin explora de manera conceptual el mundo fósil.

Algunos otros títulos y sus intérpretes muestran claramente la presencia de la geología en sus obras. Entre ellos destacan: The Geologist Song (Lesley Littlefield); The Rock (George Jones); Carboniferous (Zu); Music for Stationary Trilobites (Jon Martin); Living Fossils (Trilobite); Geology (Three Birds); Red Clay (Freddie Hubbard), Estalactitas (Jorge Drexler); Chasing Volcanoes (Felicity Cripps) y Mammoth (Paleowolf).

Tabla 1. Nombres de bandas y grupos musicales alusivos a la Geología

CATEGORIA	NOMBRE BANDA MUSICAL
Geología General y Conceptual	The Geologists, Geology, The Hyatus, Hiatus Kaiyote, Hiautus, Earth, Wind & Fire, Measuring Section, Extintion Angle, Dissolution
Tectónica y Sísmica	Quake, Earthquake, Rift, Great Rift, Rift Valley, Gondwana, Structure, Fracture, Pangea, The Orogeny, Gondwanalanders, Graben Robbers, Tectonic Fate, Not my Fault, Orogeny and the Rookies, Fault Line Groove
Regiones y paisajes geológicos	Badlands, The Ocean, Karst, The Abyssal Plain
Sedimentos, rocas y suelos	The Sand Band, Sediment Club, Soil, Bloodstone, Rare Earth, Rolling Stones, Piedras Vivas, The Stromatolites, The LieseGang Band, The Dolomite Problem, Regolith, The Spicules, The Carbonate Crew
Paleontología	T. Rex, Tyrannosaurus Rex, Saurus, Dinosaur, The Dinosaurs, Dinosaur Feathers, Last Dinosaurs, Dinosaur Bones, Dinosaur Pile-Up, Totally Enormous Extinct Dinosaurs, Dinosaur Jr., Trilobites, Trilobite, The Ammonites, Devonian, Devonian Gardens, Mastodon, Jurassic Funk, Jurassic Jazz, Jurassic 5, Restos Fósiles, Fossils, Living Fossils, Paleowolf, Birdsongs of The Mesozoic, Coprolites, Gastropod, Eón, Sabertooth
Volcanismo y procesos magmáticos	Lava, Miss Lava, Magma, Volcano, Volcán, Vulcano, Basaltic Apes, Ignimbrite
Minerales y gemas	Lapis Lazzuli, Diamonds, Quartz, Iron Maiden, Pyrites of the Caribbean

La banda serbia Paleowolf incorpora en sus álbumes una marcada temática geológica y paleontológica, con títulos como Primal Earth, Cenozoic, Megafauna Rituals y Prehistoric Meditations. Asimismo, varias de sus canciones llevan nombres de especies prehistóricas, como Entelodon, Sivatherium, Mastodon, Glyptodon, Argentavis y Megatherium, entre otras, reflejando claramente su inspiración en la historia de la Tierra.

El trabajo “Geology Rocks: la geología con música (Heavy Metal)” de Martínez-García et al. (2021) presenta una propuesta innovadora de divulgación científica basada en la adaptación musical. Inspirados en la “Astrocopla”, creada en 2015 para difundir la astrofísica, los autores trasladan esta idea a la geología mediante la versión de canciones del género heavy metal, incorporando letras con contenido geológico. El formato combina una breve explicación de conceptos clave con la interpretación musical en vivo, lo que facilita la comprensión y retención del contenido.

La banda bostoniana “Birdsongs of the Mesozoic”, fundada en 1983, desarrolla una propuesta instrumental experimental con fuerte inspiración geológica y paleontológica. Álbumes como Pyroclastics, Sonic Geology, The Iridium Controversy, Beat of the Mesozoic y Faultline reflejan procesos como el volcanismo, la tectónica y las extinciones masivas. El propio nombre del

grupo remite al Mesozoico, estableciendo desde el inicio un vínculo con el tiempo geológico y el imaginario paleontológico. Las ilustraciones de sus álbumes son por demás elocuentes.

El grupo alemán de metal progresivo “The Ocean” utiliza la escala del tiempo geológico como estructura conceptual en sus álbumes Precambrian, Phanerozoic I: Palaeozoic y Phanerozoic II: Mesozoic/Cenozoic. Los títulos y el orden de las canciones corresponden a períodos geológicos y siguen una secuencia cronológica, recreando musicalmente la evolución de la Tierra y de la vida a lo largo del tiempo profundo (<https://culturacientifica.com/2022/07/07/heavy-metal-muy-geologico/>).

“The Amoeba People” es una banda californiana que combina pop, rock, folk, jazz y otros géneros, caracterizada por interpretar canciones inspiradas en temas científicos. Entre sus piezas más conocidas se encuentran Continental Drift, The Geologists Are Coming, Seismograph, Goodbye Pangea, Geology Folk Song Medley, Mineral Man, Volcano, Coprolites, Rockin’ the Mesozoic, Chicxulub, I’m a Geophysicist, The Aa Aa Pahoehoe Lava Rock Walk y Farmer Hutton and Mary Anning. (<https://genius.com/artists/The-amoeba-people>)



Figura 6. Caratula del disco The Fossil Record de la banda The Amoeba People, conocida por interpretar canciones de contenido geológico, empleando conceptos como deriva continental, vulcanismo e historia de la tierra. (<https://eos.org/articles/amoeba-people-sing-quirky-tunes-about-geoscience>)

El álbum “Endless Forms Most Beautiful” de “Nightwish” aborda temas científicos inspirados en las teorías de la evolución de Charles Darwin y Richard Dawkins. Varias canciones reflejan directamente esta influencia: el libro “The Ancestor’s Tale” inspiró el tema que da título al álbum, mientras que “The Greatest Show on Earth: The Evidence for Evolution” sirvió de base para la composición “The Greatest Show on Earth”. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Endless_Forms_Most_Beautiful_\(album\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Endless_Forms_Most_Beautiful_(album)))

La cantautora escocesa Olivia Rafferty integra conceptos de la geología en su trabajo musical, combinando divulgación científica y expresión artística. En su proyecto “Typical Forever” (2025) utiliza procesos geológicos como la tectónica de placas, los volcanes, la orogenia o el tiempo profundo como metáforas para reflexionar sobre la vida y el cambio. Sus composiciones muestran cómo fenómenos naturales de larga duración pueden traducirse en historias musicales que acercan la historia de la Tierra al público de una manera creativa y accesible. Los títulos de sus canciones como Raindrops, Earthquake Room, Cascade, Juan de Fuca y Fossils son por sí mismos elocuentes, ya que hace referencia directa al mundo natural y la geología.



Figura 7. Carátulas de álbumes de grupos y cantantes que utilizan la geología en sus composiciones: Birdsongs of the Mesozoic, Paleowolf, The Ocean y Olivia Rafferty.

El artista Tyler G. Holst publicó el proyecto Music for Ammonites & Their Utopian Environment en la plataforma Bandcamp. Este álbum de música ambiental y experimental presenta composiciones inspiradas en especies de amonites y otras especies marinas, con el propósito de evocar el ambiente en el que vivieron estos organismos. Entre las piezas destacan títulos como “Music for Acanthoceras rhotomagensis” y “Music for Thalassoma bifasciatum” que hacen referencia directa a especies particulares.

El video “Mutual Core”, dirigido por Andrew Thomas Huang para la cantante islandesa Björk, pionera de la música electrónica y experimental, utiliza la tectónica de placas como metáfora visual. Capas, lava, fracturas y placas en colisión, se integran como un mosaico geológico que representa tensiones y transformaciones, convirtiendo procesos dinámicos internos de la Tierra en una expresión artística simbólica. (<https://www.youtube.com/watch?v=WnzRqCK6Fs>)

En resumen, la geología en la música funciona como una forma de traducir la Tierra en sonidos y en inspiración. Los artistas toman ideas de la dinámica terrestre y la historia y las convierten en ritmos, cambios y melodías. A través de la música, lo que ocurre en la naturaleza se hace más fácil de percibir, sentir y entender.

DANZA y ARTES ESCENICAS

Aunque la relación entre geología y danza es indirecta, ésta se manifiesta en obras y coreografías que exploran el vínculo entre el cuerpo humano, los procesos geológicos y, principalmente, los paisajes naturales. Algunos estilos y artistas han encontrado inspiración en la fuerza y el movimiento de la Tierra. Por ejemplo, la danza Butoh, desarrollada por Tatsumi Hijikata y Kazuo Ohno, ha sido interpretada en entornos naturales y volcánicos, evocando procesos de transformación de la naturaleza. Asimismo, la coreógrafa Anna Halprin impulsó presentaciones al aire libre donde el paisaje forma parte de la experiencia artística (<https://en.wikipedia.org/wiki/>).

En tiempos más recientes, grupos como Bandaloop (USA) realizan espectáculos de danza vertical en paredes rocosas y acantilados, integrando directamente el relieve y la geografía del lugar en la coreografía (<https://en.wikipedia.org/wiki/BANDALOOP>)

“A ritmo geológico” iniciativa de CosmoCaixa, es un taller educativo que combina danza y expresión corporal para explicar los movimientos y transformaciones de la Tierra. A partir de estudios de rocas y ejemplos reales como el Volcán Croscat (España), la actividad muestra de forma dinámica cómo procesos como el volcanismo o la formación de rocas modelan el paisaje. Forma parte del proyecto “El latido de la roca”, orientado a divulgar la geología de manera accesible para todo público (<https://www.barcelona.cat/barcelonacultura/es/recomanem/danza-geologia-cosmoaixa>)

“La cristalización de la danza” es un espectáculo que combina una explicación científica sobre cristalización con una coreografía que mezcla danza contemporánea y flamenco. La obra reúne un geólogo, una bailaora y una cantante-guitarrista, mostrando cómo la ciencia y el arte pueden dialogar en un mismo escenario. (<https://garciaruidipc.org/outreach/press/geologia-y-arte-se-dan-la-mano-en-la-cristalizacion-de-la-danza/>)

En España, existen otras iniciativas como “Cantamos y bailamos la Geología”, diseñadas para estudiantes universitarios, donde se usan instrumentos transdisciplinarios y danza creativa para enseñar la materia, así como se han desarrollado propuestas didácticas como “La Danza de los Continentes” que utiliza el baile para representar el movimiento de las placas tectónicas a lo largo del tiempo geológico (Wagner y Dal Ré Carneiro, 2008).

La bailarina y coreógrafa colombiana Lina Gómez en su proyecto de investigación “Vagarosas” explora la relación entre danza, naturaleza y procesos geológicos. La artista utiliza el movimiento corporal y la voz para reflexionar sobre la geología y el paisaje, tomando las montañas y los volcanes como metáforas de movimiento, resistencia y transformación.

(<https://fundacionmaradentro.cl/proyectos/residency-program/residencia-bosque-pehuen-investigacion-multidisciplinaria-2023-vagarosas/>)

La obra “Canto Mineral” del colectivo AzkonaToloz es un ensayo escénico-documental narrado a tres voces que recorre la historia de la Tierra desde sus orígenes hasta un futuro posible. Combina ciencia, experiencias personales y referencias culturales con música electrónica y una puesta en escena simbólica con piedras y cuerdas. En conjunto, propone una reflexión poética sobre el tiempo geológico y la relación entre el ser humano y el planeta.



Figura 8. Pasaje de la obra “Canto Mineral” (2022) del grupo AzkonaToloz, inspirada en la idea de que la Tierra y sus materiales poseen una forma de vida y memoria, inscrita en sus procesos y transformaciones a lo largo del tiempo. Foto: <https://azkonatoloz.com/portfolio/canto-mineral/>

LITERATURA

La literatura ha encontrado en la geología un importante recurso creativo. Ambientes naturales como montañas, desiertos, cavernas y volcanes no solo aparecen en las historias como simples escenarios, sino que representan desafíos, cambios o la fuerza poderosa de la naturaleza. Estos elementos ayudan a transmitir emociones, conflictos y procesos de transformación en los personajes.

Desde los relatos de viajes científicos hasta las novelas de aventura y ciencia ficción, la exploración del subsuelo o de mundos antiguos ha estimulado la imaginación de lectores de distintas épocas. De este modo, la geología aparece en

diversos géneros literarios, entre ellos la narrativa, el teatro, la poesía y el ensayo.

Además de proporcionar escenarios, la geología introdujo en la literatura una dimensión temporal particular. La noción de tiempo geológico y de prehistoria ha influido en reflexiones sobre el origen, la evolución y el destino de la humanidad. En este sentido, la geología no solo aporta paisajes, sino también una perspectiva simbólica vinculada a la memoria de la Tierra, al cambio constante de los procesos naturales y a la permanencia de los registros geológicos a lo largo de millones de años.

La consolidación de la geología como ciencia durante el siglo XIX despertó un mayor interés por estos temas en la narrativa. Estudios recientes, como los de Boixereu Vila y Meseguer Mayoral (2023) y Ordaz Gargallo (2023), muestran cómo la ficción ha incorporado conceptos como la exploración del interior de la tierra, los mundos perdidos, las épocas prehistóricas, las catástrofes naturales, la minería e incluso la figura del geólogo como personaje literario.

Literatura fantástica, de ficción y de divulgación científica

En la literatura fantástica y de ficción aparecen con frecuencia ideas como la Tierra hueca, los viajes al interior del planeta, los mundos perdidos con criaturas prehistóricas o los desplazamientos imaginarios hacia el pasado geológico, especialmente hacia la era de los dinosaurios. Fenómenos naturales como volcanes o terremotos también han sido elementos recurrentes en estas narraciones. Incluso algunos eventos geológicos reales han tenido impacto indirecto en la literatura; por ejemplo, la erupción del Tambora influyó en el contexto climático y cultural que rodeó la creación de Frankenstein de Mary Shelley (Martínez-García, 2018).

Diversos escritores han introducido conceptos geológicos en sus obras. Martínez-García (2018) señala que Edgar Allan Poe incluyó referencias a la mineralogía y la petrología en el relato *Lionizing* (1835), donde aparece un geólogo que describe minerales y rocas, reflejando el interés que estos temas despertaban en la primera mitad del siglo XIX. Asimismo, en su novela *The Narrative of Arthur Gordon Pym of Nantucket* (1838), Poe imagina la geología de la Antártida mediante descripciones de rocas ígneas y sedimentarias, combinando elementos científicos con ficción literaria.

Charles Dickens incorporó en sus obras descripciones de paisajes, minas, ríos y entornos naturales que reflejan las

transformaciones del territorio durante la Revolución Industrial. Describió cavernas, arrecifes de coral, acantilados y detalla sus viajes a regiones volcánicas de pasados catastróficos. Contribuyó a despertar el interés en la población por los fósiles y hallazgos paleontológicos de la época victoriana. Su trabajo se cataloga entre el “realismo literario” y la novela científica.

El escritor francés Jules Verne también contribuyó a popularizar el interés por la geología con su novela *Viaje al centro de la Tierra* (1864). En esta obra imaginó una expedición al interior del planeta e incorporó conocimientos geológicos de su época, como la estratificación de las rocas, la presencia de fósiles y la actividad volcánica. Aunque se trata de una narración fantástica, la obra despertó la curiosidad del público por la exploración del interior terrestre y por las ciencias geológicas. La esfinge de los hielos, de este mismo autor, es una novela de aventuras ambientada en la Antártida que retoma el misterio dejado por la novela de E.A. Poe. En la historia, una expedición descubre una extraña formación rocosa con fuerte magnetismo que explica la desaparición de barcos en la región. La obra mezcla expediciones polares, geología, imaginación científica y el espíritu de descubrimiento propio del siglo XIX.



Figura 9. Ejemplares de novelas clásicas de la literatura geológica de ciencia ficción

Ammonite, de la escritora británica Nicola Griffith, es una novela de ciencia ficción publicada en 1993 que combina exploración planetaria, antropología y reflexiones sobre la evolución y la adaptación.

Paralelamente, diversas obras de divulgación han contribuido a acercar la historia de la geología al público general. Libros como *La historia de la Tierra* de Robert Hazen y *Timefulness* de Marcia Bjornerud presentan de manera accesible los procesos geológicos y su relación con la historia del planeta. De forma similar, el escritor y divulgador Alan Cutler aborda el desarrollo histórico de esta ciencia en obras como *The Seashell on the*

Mountaintop y *The New History of the Earth*, donde relata la vida de Nicolás Steno y explica cómo sus observaciones sobre fósiles y estratos rocosos sentaron las bases de la estratigrafía moderna.

El libro *A Little History of the Earth* de Jamie Woodward presenta una síntesis clara y accesible de la historia geológica del planeta, explicando cómo los procesos naturales y el trabajo científico han permitido reconstruir la evolución de la Tierra a lo largo del tiempo. *The First Fossil Hunters: Paleontology in Greek and Roman Times* de Adrienne Mayor analiza cómo algunos mitos de la Antigüedad clásica pudieron originarse en el hallazgo de fósiles. En el libro, la autora muestra que griegos y romanos observaron e interpretaron restos de animales extintos, asociándolos con criaturas míticas como gigantes, cíclopes o grifos, revelando una temprana relación entre naturaleza, fósiles e imaginación cultural.



Figura 10. Portadas de diversos libros de divulgación en geología, en los que se abordan conceptos como el tiempo geológico y la historia de la Tierra, así como el origen, desarrollo y principales procesos de esta disciplina.

El libro *Los geólogos no somos de piedra*, del geólogo argentino Domingo Jakulica, en un tono cercano y reflexivo, reúne relatos y anécdotas surgidas del trabajo de campo y de la vida profesional del autor. El geógrafo francés Élisée Reclus en *La historia de un arroyo* describe el recorrido de un pequeño curso de agua desde su nacimiento hasta su desembocadura. A través de esta narración sencilla, explica procesos naturales como la erosión, el transporte de sedimentos y la formación del paisaje, combinando geografía, geología y sensibilidad literaria.

El libro *Dark Matter and the Dinosaurs* de Lisa Randall propone que el paso del Sistema Solar por regiones de

materia oscura podría alterar las órbitas de cometas y aumentar la probabilidad de impactos en la Tierra. Estos eventos habrían influido en algunas extinciones masivas, incluida la de los dinosaurios, integrando ideas de física, astronomía y geología para explicar posibles vínculos entre procesos cósmicos y la historia de la vida en el planeta

Además de la narrativa de ficción y la divulgación científica, existe también una literatura de carácter más reflexivo que explora la relación entre el ser humano y la materialidad terrestre. Algunas propuestas contemporáneas, como las de Cristina Rivera Garza, abordan la Tierra no solo como escenario, sino como parte fundamental de la experiencia humana y de la memoria cultural. En una línea similar, la escritora británica Penelope Lively, en su libro *Dancing Fish and Ammonites* (2013), utiliza fósiles de amonites y otros objetos personales para reflexionar sobre la memoria, el paso del tiempo y la relación entre la experiencia humana y el tiempo profundo de la Tierra.

Poesía y Otras Letras

La geología ha ejercido una influencia profunda y transformadora en diversos géneros literarios, particularmente en la poesía del siglo XIX, al introducir conceptos que desafiaron las nociones tradicionales del tiempo y el lugar del ser humano en la naturaleza. La formulación del concepto de “tiempo profundo”, consolidado por geólogos como Charles Lyell, evidenció que la Tierra posee una antigüedad inmensamente mayor que la sugerida por las interpretaciones bíblicas. Este cambio de paradigma tuvo un notable impacto en la sensibilidad de los poetas victorianos, quienes comenzaron a explorar la tensión entre la insignificancia de la vida humana y la inmensidad de los procesos geológicos. En este contexto, la poesía se consolidó como un espacio de reflexión estética y filosófica, donde se procesó la aparente insignificancia del ser humano frente a la inmensidad del tiempo geológico y la persistencia del mundo mineral.

En obras de Alfred Tennyson (1809-1892), se expresa una visión de la naturaleza como fuerza indiferente, capaz de “crear y destruir” a lo largo de escalas temporales inconmensurables. De manera similar, Matthew Arnold (1822-1888) refleja en su poesía una sensación de pérdida de certeza frente a un universo regido por leyes naturales más que por un orden providencial.

Más recientemente, el poeta británico Martin West presenta en su libro *Cretacea* una colección de poemas inspirados en la historia geológica de la Tierra,

especialmente en el período Cretácico. A través de imágenes de fósiles, rocas y paisajes antiguos, el autor reflexiona sobre el tiempo profundo, la transformación del planeta y la relación entre la vida humana y la historia natural. La obra combina sensibilidad poética con referencias científicas, mostrando el vínculo entre la geología y la literatura.

En “Geología”, la poeta argentina Claudia Masin incorpora la geología en su obra desde una perspectiva simbólica y sensible, más que científica. En sus textos, ciertos elementos de la Tierra, como capas, piedras, fallas, profundidad o restos del pasado, funcionan como metáforas para explorar la memoria, el tiempo y la experiencia humana desde la niñez. El poema “El geólogo”, del gran escritor colombiano William Ospina, reflexiona sobre el paso del tiempo y la memoria de la Tierra. A partir de una roca que guarda restos fósiles, muestra cómo la naturaleza conserva huellas de antiguos seres vivos. El contraste entre la roca inerte y la vida actual sugiere que la diferencia entre ambos es solo el tiempo, destacando la transformación continua del mundo natural.

La prosa y la pintura también se unen alrededor del volcán Chimborazo como símbolo de grandeza natural y trascendencia humana. En Mi delirio sobre el Chimborazo, Simón Bolívar transforma el ascenso a esta montaña en una experiencia simbólica y filosófica, en la que dialoga con el Tiempo y reflexiona sobre el destino de la humanidad frente a la eternidad de la naturaleza. Décadas más tarde, el pintor venezolano Tito Salas plasmó esa visión en una pintura heroica realizada en 1930, donde Bolívar aparece en éxtasis sobre el volcán, acompañado por una figura alegórica.



Figura 11. El Volcán Chimborazo como símbolo de grandeza natural y trascendencia: en Mi delirio sobre el Chimborazo,

Simón Bolívar propone una reflexión filosófica sobre el tiempo y la humanidad, posteriormente representada en la pintura de Tito Salas (1930).

En el ámbito de la narrativa gráfica, el artista español Ricardo Delgado creó la serie Age of Reptiles, un conjunto de novelas gráficas que recrean la vida durante la era de los dinosaurios sin utilizar diálogos. A través de ilustraciones detalladas y una narración puramente visual, la obra muestra escenas de la vida cotidiana, la depredación, la supervivencia y la evolución de distintos reptiles prehistóricos, acercando al lector al mundo del Mesozoico de manera directa y evocadora.

En conjunto, estas obras, y géneros, de un universo inmenso, muestran que la geología no solo aporta escenarios o conocimientos científicos a la literatura, sino también una perspectiva profunda sobre el tiempo, la transformación y la historia del planeta. De esta manera, la relación entre geología y literatura revela cómo el estudio de la Tierra ha influido en la imaginación cultural y en la forma en que las sociedades interpretan su lugar dentro de la historia natural.

CINEMATOGRAFIA Y AUDIOVISUALES

La geología ha proporcionado al cine infinidad de escenarios, imágenes impactantes y argumentos dramáticos. Dinosaurios, bestias colosales y desastres naturales como terremotos, erupciones volcánicas o impactos meteoríticos son temas frecuentes en películas de ficción. Al mismo tiempo, los documentales científicos han utilizado recursos audiovisuales para explicar procesos geológicos complejos de manera accesible al público general. Paisajes espectaculares, como cañones, glaciares o desiertos, se convierten en protagonistas visuales que refuerzan la narrativa.

En muchos casos, la geología no solo sirve como fondo escénico, sino como motor de la trama, mostrando cómo la dinámica terrestre influye en la vida humana.

La utilización cinematográfica de la geología no supone únicamente el argumento para películas de temática geológica o un soporte de las mismas, sino que su empleo permite, con independencia del relato, ambientar diferentes escenarios, naturales o artificiales, en los que se desarrolla la acción fílmica y que se ha denominado geología de ambientación (Martínez Parra, 2023).

Los paisajes geológicos suponen una importante influencia a la hora de ambientar los filmes, permitiendo recrear

aquello que se busca desde un punto de vista creativo, bien como realistas o como transmisores de diversas sensaciones al espectador: miedo, angustia, lejanía, irrealidad, misterio, peligro, pertenecer a otro mundo, pero también, como paisajística accesible a nivel de producción, han establecido la imagen icónica para diversos géneros, como ha ocurrido con los diversos tipos de westerns, filmes postapocalípticos y ambientados en otros planetas.

La geología del cine abarca temas que van desde impactos estelares, tectónica de placas, desastres naturales (tornados, huracanes, tormentas, temporales, avalanchas), cambio climático, ambientes sedimentarios, petróleo, hasta la paleontología, especialmente dinosaurios y tiburones, monstruos marinos y bestias prehistóricas fantásticas, sin olvidar la figura del geólogo.

Geología, procesos geológicos y fenómenos naturales en el cine

El cine ha representado con frecuencia diversos fenómenos naturales, como erupciones volcánicas, terremotos, impactos de meteoritos, tsunamis y cambio climático, aunque muchas veces exagerados con fines dramáticos. Se evidencia cómo, desde finales del siglo XX hasta la actualidad, el cine ha reflejado tanto el interés científico como la preocupación social por los grandes procesos naturales de la Tierra

Volcanismo y tectónica de placas

El volcanismo y los terremotos, asociados a la tectónica de placas, han sido argumentos reiterados en el cine de catástrofes y ciencia ficción. Estas películas representan la dinámica interna de la Tierra y los procesos que modelan la corteza terrestre, mostrando erupciones volcánicas, sismos y fallas que afectan a poblaciones humanas y paisajes naturales. Aunque muchas veces se dramatizan para intensificar la narrativa, estas producciones contribuyen a divulgar fenómenos geológicos fundamentales.

A continuación, se muestran algunas películas icónicas y la fecha de estreno de cada una:

Volcanes: El Monstruo de los Volcanes (1963), Krakatoa, East of Java (1968), The Island at the Top of the World (1974), St Helens (1981), Dante's Peak (1997), Volcano (1997), Supervolcano (2005), Disaster Zone: Volcano in New York (2006), Magma: Volcanic Disaster (2006), Wall of Fire (2010), Super Eruption (2011), Lava (2014), Pompeii

(2014), Into the Inferno (2016), Yanka y el Espíritu del Volcán (2018), Eruption LA (2018), Fire of Love (2022), The Fire Within: A Requiem for Katia and Maurice Krafft (2022), La Palma (2024), Magma (2025)



Figura 12. Carteles promocionales de películas cuya trama se centra en volcanes y procesos volcánicos.

Tectónica de placas y terremotos: Crack in the World (1965), The Day the Earth Moved (1974), Earthquake The fall of Los Angeles (1974), Earthquake (1974), At the Earth's Core (1976), Volcanoes of the Deep Sea (2003), The Core (2003), 10.5 Apocalypse (2006), Sinking of Japan (2006), Viaje al Centro de la Tierra (1959, 1976, 2008), 2012 (2009), Mega Fault (2009), Wall of fire (2010), Ice Quake (2010), Cat. 8.0 (2013), San Andreas (2015), The Quake (2018)



Figura 13. Carteles promocionales de películas cuya trama se centra en tectónica de placas, grandes sismos y su impacto en el entorno natural y humano

Paleontología y Vida Prehistórica

La paleontología es quizás el tema más recurrente en las películas de corte geológico. La presencia de dinosaurios y megafauna prehistórica en el cine se remonta a las primeras décadas del siglo XX con filmes pioneros como The Lost World (1925) y King Kong (1933). Con el avance de los efectos especiales, estas criaturas alcanzaron gran realismo en películas como Jurassic Park (1993) y The Meg (2018). Actualmente existen compilaciones que reúnen más de 320 películas, reales o animadas, sobre dinosaurios y otras criaturas prehistóricas, reflejando el gran interés del cine por la paleontología

(https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_films_featuring_dinosaurs).

Una lista cronológica y selectiva de las principales películas de este género, se presenta a continuación: The Lost World (1925), King Kong (1933), One Million B.C. (1940), Two Lost Worlds (1951), The Beast from 20,000 Fathoms (1953), Godzilla (1954), Journey to the Beginning of Time (1955), The Land Unknown (1957), Journey to the Center of the Earth (1959), Valley of Dragons (1961), Gorgo (1961), One Million Years B.C. (1966), The valley of Gwangi (1969), The Land That Time Forgot (1974), The Last Dinosaur (1977), Legend of Dinosaurs and Monster Birds (1977), Planet of Dinosaurs (1977), Jurassic Park (1993), The Lost World: Jurassic Park (1997), Walking with Dinosaurs (1999), Dinosaur (2000), Ice Age (2002), 10.000 BC (2008), Journey to the Center of the Earth (2008), Jurassic World (2015), The Good Dinosaur (2015), The Meg (2018), Jurassic World: Fallen Kingdom (2018), Jurassic World Dominion (2022), Meg 2: The Trench (2023)



Figura 14. Posters de películas de temas relativos a paleontología, tiempo geológico, dinosaurios y bestias prehistóricas.

La serie de películas animadas La Edad de Hielo, ambientada en el Pleistoceno, tiene un importante valor divulgativo. A través del viaje y las peripecias de un grupo de animales prehistóricos, muestra las duras condiciones de la última glaciación. Además de la presencia de megafauna y flora de la época, la película presenta paisajes majestuosos y recrea, de forma sencilla y accesible,

fenómenos geológicos como las glaciaciones, los cambios climáticos y, en algunas entregas, la deriva continental.

Impactos cósmicos y catástrofes globales

El cine siempre ha explorado la posibilidad de impactos de asteroides o cometas sobre la Tierra, eventos que han tenido consecuencias importantes en la historia geológica del planeta. Estas narrativas suelen presentar escenarios de riesgo global, destacando los efectos potenciales de un impacto cósmico sobre el clima, los ecosistemas y la supervivencia humana. Filmes de esta categoría son: When Worlds Collide (1951), The Monolith Monsters (1957), Quiet Earth (1985), Deep Impact (1998), Armageddon (1998), Earth Storm (2006), An Ode to Life (2016), Greenland (2020)



Figura 15. Afiches de filmes de ciencia ficción y catástrofes que abordan impactos extraterrestres, amenazas de asteroides y lluvias de meteoritos, destacando su potencial efecto sobre la Tierra.

Desastres naturales y Eventos extremos (tormentas, tsunamis, inundaciones)

Los desastres naturales, como tsunamis, huracanes, inundaciones o tormentas extremas, constituyen una temática central del cine de catástrofes. En estas historias, la naturaleza aparece como una fuerza poderosa capaz de alterar el orden social y poner a prueba la capacidad humana de adaptación y supervivencia frente a fenómenos ambientales de gran magnitud.

Entre las películas de este género se encuentran: In Search of the Castaways (1962), Avalanche (1978, 1999), Waterworld (1995), Twister (1996), Flood: A River's Rampage (1997), Hard Rain (1998), The Perfect Storm (2000), Poseidon (2006), Tsunami The Aftermath (2006), Flood (2007), NYC: Tornado Terror (2008), Disaster Movie (2008), Ice Twisters (2009), Tornado Valley (2009), Artic Blast (2010), Mas Allá de la Vida (2010), Doomsday Prophecy (2011), Metal Tornado (2011), Tsunami (2012), Lo Imposible (2012), Horas Desesperadas (2013), Noah (2014), Into the Storm (2014), The Wave (2015), La Última

Ola (2015), Geo Storm (2017), The Flood (2023), The Great Flood (2025), Tornado (2025)



Figura 16. Carteles de películas de catástrofes centradas en desastres naturales (tsunamis, huracanes, inundaciones y tormentas extremas), que representan eventos hidrometeorológicos y geodinámicos de alta energía y su impacto sobre sistemas sociales y ambientales.

Cambio climático

En las últimas décadas, el cine ha comenzado a abordar con mayor frecuencia el cambio climático y las crisis ambientales globales. A través de documentales, dramas y películas de ciencia ficción, estas producciones reflexionan sobre el impacto de las actividades humanas en el sistema terrestre, mostrando posibles escenarios futuros relacionados con el calentamiento global, el aumento del nivel del mar o la transformación de los ecosistemas.

Entre las películas sobre esta temática destacan: The Day After Tomorrow (2004), Absolute Zero (2005), An Inconvenient Truth (2006), The 11th Hour (2007), Chasing Ice (2012), Snowpiercer (2013), Before the Flood (2016), An Inconvenient Sequel: Truth to Power (2017), Our Planet (2019),



Figura 17. Afiches de películas que tratan la temática del cambio climático, el calentamiento o enfriamiento global, y las crisis ambientales mundiales.

El Geólogo como protagonista

El cine también ha incorporado la figura del geólogo como parte de sus historias. En algunas películas la geología aparece de forma directa, a través de personajes científicos o actividades como la exploración minera, el estudio de fósiles o la geofísica. Entre las más conocidas se encuentran: The Creature from the Black Lagoon (1954), Viaje al Centro de la Tierra (1959), Un lugar en el mundo (1992), Jurassic Park (1993), The Shawshank Redemption (1994), Dante's Peak (1997), Japanese Story (2003), The Core (2003), 2012 (2009), Wall of Fire (2010), Ice Quake (2010), The Source (2011), The Geologist (2012), The Martian (2015), Ammonite (2020), The Dig (2021), Unconformity (2022)



Figura 18. Afiches de películas donde el geólogo es el protagonista principal de la trama.

Petróleo y Energía

Las películas con temática petrolera suelen centrarse en la exploración, la explotación de hidrocarburos y sus consecuencias económicas, sociales y ambientales. Algunas producciones retratan el auge y evolución de la industria petrolera y la ambición empresarial a comienzos del siglo XX, las operaciones y accidentes reales o las complejas relaciones políticas y económicas vinculadas al

petróleo a escala global. Muestran cómo el petróleo ha influido en la economía, la geopolítica y los conflictos contemporáneos.

Entre las más famosas están: *Petróleo* (1940), *Flowing Gold* (1940), *Black Gold* (1947), *Tulsa* (1949), *Giant* (1956), *Oklahoma Crude* (1973), *The Stars Fell on Henrietta* (1995), *Les Enfants du Pétrole* (2001), *Syriana* (2005), *The Oil Factor* (2005), *A Crude Awakening* (2006), *Crude Impact* (2006), *There Will Be Blood* (2007), *Crude* (2009), *The Rig* (2010), *Blood & Oil* (2010), *El Príncipe del Desierto* (2011), *Cabimas* (2012), *Promise Land* (2012), *Pioneer* (2013), *Boca de Pozo* (2014), *Horizonte Profundo/Deep Water Horizon* (2016), *Maracaibo* (2017), *Un milagro en Texas* (2019), *El Mar del Norte* (2021), *Killers of the Flower Moon* (2023), *Pimpinero: Sangre y Gasolina* (2024), *Landman* (2024)



Figura 19. Carteles de películas con temática petrolera, centradas en la exploración y explotación de hidrocarburos, así como en sus implicaciones económicas, sociales, ambientales y geopolíticas, incluyendo el desarrollo histórico de la industria, sus riesgos operacionales, desastres y las dinámicas de poder asociadas.

Paisajes y ambientes naturales como elementos narrativos en el cine

En numerosas producciones cinematográficas, el entorno geográfico no solo funciona como escenario, sino también como un elemento que condiciona la narrativa, influyendo en los conflictos, la supervivencia de los personajes y el desarrollo dramático de la historia. Desde esta perspectiva, diversas películas pueden catalogarse según elementos del paisaje o ambientes naturales representados en pantalla, tales como rocas y minerales, desiertos, montañas, lagos, selvas, mares o cordilleras.

En el cine, la geología cumple un papel que va más allá del argumento de películas centradas en temas geológicos. Los paisajes y escenarios naturales también funcionan como elementos de ambientación que ayudan a construir la

atmósfera visual de una historia. Los paisajes pueden transmitir sensaciones como misterio, peligro, lejanía o irrealidad, y se han convertido en escenarios característicos de distintos géneros cinematográficos, como los westerns, las películas postapocalípticas o las ambientadas en otros planetas. De este modo, los paisajes geológicos contribuyen a definir la estética y la narrativa visual del cine (Boixereu Vila y Rosell Meseguer Mayor, 2023)



Figura 20. Escena y afiche del film “She Wore a Yellow Ribbon” (1949), dirigida por John Ford, rodada en Monument Valley, cuyo paisaje de formaciones rocosas rojizas (derecha) se convirtió en un ícono del cine western clásico.

Entre los ejemplos se encuentran filmes ambientados o vinculados a estos escenarios naturales como: *The Rock*, *Gold*, *The Gold Rush*, *The Sand Pebbles*, *Arena Negra*, *Salar*, *The Island*, *Beaches*, *Coral Reef Adventure*, *Quicksand* (2023), *La Cordillera*, *The Mountain*, *The Canyon*, *The Lake*, *Lake Placid* y *La Ciénaga*.

Philippi (2021) en “Geocinema: El cine a través del lente geológico”, analiza algunos de los paisajes naturales más destacados presentes en películas icónicas de la historia del cine. En su estudio selecciona 21 filmes y examina 105 escenas grabadas en 12 países, proponiendo observar los escenarios naturales desde una perspectiva geológica. De este modo, demuestra que el cine no solo entretiene, sino que también puede funcionar como una herramienta de divulgación científica y educación en geociencias.

A manera de ejemplo, la película *The Lord of Rings* (2001) fue filmada completamente en Nueva Zelanda, en más de 150 locaciones. *El Mundo Perdido* (1925) se inspiró en los relatos de las primeras expediciones al Roraima para imaginar una meseta donde aún habitaban dinosaurios. *Avatar* (2009) utilizó paisajes del Parque Forestal Nacional de Zhangjiajie (China), Selvas Tropicales de Hawái (EE. UU), Salto Ángel y Monte Roraima (Venezuela), Cuevas de Waitomo (Nueva Zelanda) y Khao Sok National Park (Tailandia). (https://traveling.com/en/blog/avatar-filming-locations/#Need_a_better_travel_inbox)

Muchos de los “spaghetti westerns” filmados entre 1964 y 1978 fueron filmados en locaciones del sur de Italia y España. Los paisajes áridos de Almería, especialmente el Desierto de Tabernas, se convirtieron desde los años 60 en escenarios emblemáticos del cine western. Allí se filmaron clásicos como “A Fistful of Dollars”, “For a Few Dollars More” y “The Good, the Bad and the Ugly”. En la zona se construyeron además poblados cinematográficos como Oasys MiniHollywood y Fort Bravo Texas Hollywood, mientras que otros paisajes cercanos, también sirvieron de locación. Algunas otras escenas se rodaron en la Comunidad de Madrid y en Italia.

CONCLUSIONES

El recorrido por la música, la danza, la literatura y el cine muestra que la influencia de la geología va mucho más allá de los materiales o los paisajes visibles. La Tierra se convierte también en idea, símbolo y metáfora, capaz de inspirar historias, sonidos y movimientos.

Se evidencia como los procesos geológicos, los paisajes y la escala del tiempo del planeta han alimentado la creatividad artística, permitiendo un diálogo natural entre el conocimiento científico y la sensibilidad cultural. Procesos y elementos terrestres no solo sirven de escenario, sino que actúan como recursos expresivos que transmiten emociones, cambios y permanencias.

En la música, la geología inspira tanto títulos como sonidos que evocan paisajes y procesos naturales. En la danza, algunos proyectos exploran la relación entre el movimiento del cuerpo y la dinámica de la Tierra, llevando al lenguaje corporal ideas como la transformación o la energía interna del planeta. En la literatura, los elementos geológicos se usan como símbolos para expresar el paso del tiempo, el misterio, los cambios y la continuidad de la vida, y a menudo funcionan como metáforas de la condición humana. En el cine, por su parte, los paisajes y fenómenos naturales no solo ambientan las historias, sino que también contribuyen a generar emociones y construir narrativas. Símbolos que evocan el paso del tiempo, las transformaciones y la continuidad de la vida.

En resumen, la geología no solo explica la historia del planeta, sino que también alimenta la imaginación y la creatividad humana. Su presencia en estas artes demuestra que ciencia y cultura están profundamente conectadas, compartiendo una misma musa: la Tierra.

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no existen conflictos de intereses relacionados con la preparación y publicación de este artículo.

REFERENCIAS y CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrícola G. (1556) *De Re Metallica*. Traducción: Hebert Clark Hoover H. & Lou Henry Hoover. Dover Publications, Inc., New York, 1950, 638 p.
- Arias, P. (2015). *La piedra natural en la arquitectura histórica*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Baucon A. (2009) *Geology in Art. An Unorthodox Path from Visual Arts to Music*. tracemaker.com, 120 p. (<https://www.blurb.com/books/1049152-geology-in-art-hardcover>)
- Boixereu Vila Ester y Meseguer Mayoral Rosell (2023). *The Geology in Art: Introduction/ La geología en el arte: Introducción*. Boletín Geológico y Minero 2023, VOL. 134 (1), 7-11 ISSN: 0366-0176, <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/134.1/000>
- Corbí H. y Villanueva S. (2015) *Expandiendo la escultura sonora en piedra: puntos de encuentro con la geología*. II Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales ANIAV 2015. Sesión de Posters. <http://dx.doi.org/10.4995/ANIAV.2015.1256>
- Corbí Sevilla H., Villanueva Marañón Y., Cerdà i Ferré J., Tous J., Martínez Martínez J., Molina Alarcón M. (2016) *Explorando los sonidos de las piedras, taller interdisciplinario de exploración geosónica con Litófonos*. Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, ISSN 1132-9157, Vol. 24, Nº. 2, 2016, págs. 153-162
- Martínez B.M. (2022). *Heavy metal muy geológico*. Fronteras/Cuaderno de Cultura Científica (acceso 11/03/2026) (<https://culturacientifica.com/2022/07/07/heavy-metal-muy-geologico/>)
- Ezquerro, L., Simón, J.L. *Geomusic as a New Pedagogical and Outreach Resource: Interpreting Geoheritage with All the Senses*. Geoheritage 11, 1187–1198 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00364-3>
- Hernández Barreña Daniel (2019) *La geología del arte*, posted in Actualidad, Hombre Geológico Blog (<https://geologicalmanblog.wordpress.com/2019/07/09/la-geologia-del-arte/>) acceso 25/02/2026
- Hough Joanna (2013) *Geology meets art*, Government of South Australia. Department for Energy and Mining, MESA Journal 70 Issue 3, 2013, p 44-48.

Hough Joanna (2016) Geology meets art – 2014 sculptures, Government of South Australia. Department for Energy and Mining, MESA Journal 81, October–December 2016, p 30-34.

Hough Joanna (2019) Geology meets art – Hills Sculpture Trail, Government of South Australia. Department for Energy and Mining, MESA Journal 89, 2019 – Issue 1

Hutton, J. (2002). Theory of the Earth (reimpresión del trabajo original publicado en 1788). Geological Society of London.

Martínez-García Blanca (2018), Geología y literatura fantástica, ¿una buena relación? Tierra y Tecnología T&T 52, Sept 2018 (<https://www.icog.es/TyT/index.php/2018/09/geologia-y-literatura-fantastica-una-buena-relacion/>)

Martínez-García B., Mendicoa J. y Guede I. (2021). Geology rocks, la Geología con música (Heavy Metal) entra. Geotemas (Madrid), ISSN 1576-5172, Nº. 18, 2021 (Ejemplar dedicado a: X Congreso Geológico de España), pág. 676

Merriam, Dan (2012) "Geology and Music," The Compass: Earth Science Journal of Sigma Gamma Epsilon: Vol. 84: Iss. 3, Article 3. DOI: <https://doi.org/10.62879/c68119262>

Meseguer Mayoral, R. Arte y Geología: Historia y contemporaneidad de las artes y lo geológico. Index, Revista De Arte

Ordaz Gargallo Jorge (2023) Geology and literary fiction/Geología y ficción literaria, Boletín Geológico y Minero, 2023, VOL. 134 (1), 67-85, ISSN: 0366-0176, <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/134.1/004>

Petersen, S. (2003). The geology of art materials. Cambridge University Press.

Philippi N. (2021). Geocinema. El Cine a través del lente geológico. Editorial Ediquid, 118 p.

Philippi N. (2021). El cine a través del lente geológico. Revista Ciencias de la Tierra. Geocultura y Educación, Geodivulgación. (<https://revistacienciasdelatierra.com/geocultura-y-educacion/geodivulgacion/el-cine-a-traves-del-lente-geologico/9076/>)

Porras J. (2026) Faustino Corsi y su Catálogo de Piedras Ornamentales. Revista Maya de Geociencias, Abril 2026, p 29-38.

Rivas, T., Santos-Hermo, A., Andrés-Herguedas, L., & Pozo-Antonio, J. S. (2026). Documenting a Graffiti Tag by Muelle, a Pioneer of Graffiti Art in Spain. Heritage, 9(1), 23. <https://doi.org/10.3390/heritage9010023>

Siegesmund S., & Snethlage R. (2014). Stone in architecture: Properties, durability: Fifth edition. 10.1007/978-3-642-45155-3.

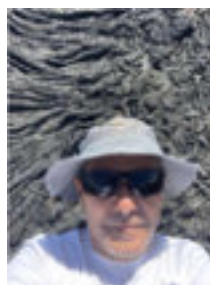
Traveling.com. Avatar Filming Locations

(https://traveling.com/en/blog/avatar-filming-locations/#Need_a_better_travel_inbox) accessed 09/03/2026

Volcanoes in Art. (Year, Month Date). Climate in Global Cultures and Histories: Promoting Climate Literacy Across Disciplines. Retrieved Month Date, Year, from <https://www.science.smith.edu/climatelit/volcanoes-in-art/>.

Wagner Gonçalves, Pedro; Dal Ré Carneiro, Celso (2008) «La danza de los Continentes en el tiempo geológico». Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2008, vol.VOL 16, núm. 1, p. 107-16, <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/120993>.

SOBRE EL AUTOR:



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

Posee amplia experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado diversos cargos en proyectos tanto de exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales.

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

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

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

THEOPHRASTUS (371 - 287 a. C.) El «PADRE FUNDADOR DE LA MINERALOGÍA» (ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΥ ΠΕΡΙ ΛΙΘΩΝ)

JHONNY E. CASAS^{1,2}

¹Escuela de Geología, Minas y Geofísica, y ²Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



Cover photo: Gemini 2.5

INTRODUCCIÓN

Es difícil encontrar lo que denominaríamos formalmente un geólogo en tiempos antiguos, ya que la geología como ciencia moderna, y con ese nombre, no se estableció definitivamente sino hasta 1778, cuando Jean-André Deluc (1727-1817) utilizó y definió el término «geología», con un significado cercano al actual, refiriéndose al estudio de la Tierra. Sin embargo, podemos encontrar un erudito de la Antigüedad Clásica, famoso por ser el primero que realizó y documentó las primeras contribuciones sistemáticas de lo que hoy llamamos mineralogía y ciencias de la Tierra. Se trata de Theophrastus (371-287 a. C.), filósofo y naturalista griego, el cual debería ser considerado el «padre de la mineralogía», ya que fue el primer autor conocido en la historia con una obra dedicada a las rocas, minerales y materiales terrosos.

Su código es el texto más antiguo de la tradición occidental que se conserva y que hace un estudio

organizado de los minerales y rocas. Describió decenas de sustancias, incluyendo menas (rocas con minerales de interés), gemas, ámbar, lignito, materiales de ornamento y arcillas. Clasificó los materiales terrestres según sus propiedades (color, dureza, densidad, propiedades térmicas); incluso propuso teorías sobre su origen y formación a partir de la mezcla de los cuatro elementos primarios (tierra, agua, aire, fuego). En su obra, no solo menciona y describe las rocas, sino que también alude a elementos que hoy reconocemos como fósiles. Observó las conchas petrificadas y otras estructuras, y hasta deja entrever el proceso de fosilización («congelación» de la materia orgánica), lo que lo convierte también en uno de los precursores de la paleontología.

Reconocer la labor de Theophrastus es esencial porque, a diferencia de otros filósofos griegos que solo observaron fenómenos (como volcanes o terremotos),

él se enfocó directamente en la composición y las propiedades de los materiales sólidos de la Tierra.

¿QUIÉN FUE THEOPHRASTUS?

Theophrastus nació en Ereso (en la isla de Lesbos, Grecia) en el 371 a. C., donde recibió lecciones de filosofía por parte de Leucipo de Mileto. Años después se desplazó a Atenas, donde entra en el llamado círculo platónico. Alumno primero de Platón quien fallece en el 347 a. C. [1] y más tarde de Aristóteles (384-322 a. C.), aprendió durante varios años de estos dos grandes filósofos y pensadores.

Theophrastus viajó con Aristóteles a Asos (ciudad griega próxima a Lesbos), en Asia Menor, y posteriormente a Macedonia, pues Aristóteles fue requerido allí como tutor de Alejandro Magno (356-323 a. C.). Alrededor del 335 a. C., ambos filósofos regresaron a Atenas, donde Aristóteles fundó su escuela [2] en el *Lyceum* (Liceo). Theophrastus fue un reconocido erudito de la Escuela Peripatética de Filosofía (Peripatos), recibiendo su nombre de la práctica de caminar o pasear, especialmente por los terrenos del Liceo de Atenas (una verdadera universidad de su época), mientras se hacían observaciones y se discutían ideas acerca de una gran variedad de temas (Figura 1).

Una curiosidad acerca de Theophrastus (Teofrasto, en español) es que su nombre original era Tyrtamos, pero Aristóteles se lo cambió debido a la gracia de su elocuencia. Aristóteles lo nombró en su testamento tutor de sus hijos, le legó su biblioteca privada y los pergaminos originales de todos sus trabajos, designándolo además su sucesor en la dirección del Liceo, al marcharse de Atenas debido al creciente sentimiento antimacedonio en la población [2], durante el 323 a. C. cuando Alejandro Magno falleció [3]. Theophrastus fue así, el director de esta institución de enseñanza durante 35 años hasta su muerte [2], y según el antiguo biógrafo Diógenes Laercio (historiador de filosofía), se le atribuyen unas 220 obras a su pluma [4], de las cuales solo se conservan menos del 10 %.

Las materias de interés de Theophrastus fueron muy diversas, desde física y biología hasta música, política, ética y metafísica [2]. Continuó el trabajo de Aristóteles sobre la lógica, estudiando además gramática y lenguaje. Fue ampliamente conocido en el ámbito de la literatura, donde su obra «Caracteres» (Ἡθικὰ χαρακτῆρες), ejerció considerable influencia en el género literario del drama [4], Theophrastus realizó

extensas observaciones y anotaciones acerca de la biogeografía y fisiología de plantas y animales. Una de las obras más destacadas de Theophrastus fueron sus famosos tratados botánicos *Historia Plantarum* y *De causis plantarum*, considerados los libros más importantes en historia natural de la antigüedad [2], donde hizo la primera clasificación sistemática de las plantas. Debido a todos estos trabajos sobre el mundo vegetal, el gran científico naturalista sueco Carl Linneo (1707-1778), en su *Fundamenta Botanica*, menciona a Theophrastus (aforismo 52), al incluirlo por sus obras, en la lista de los botánicos más notables, reconociéndolo como el *pater botanices* o «padre de la botánica» antigua [5].



Figura 1. Imagen alegórica de Theophrastus y sus discípulos en el Liceo de Atenas, estudiando rocas, minerales y plantas. Fuente: Open IA (2025, 20 de octubre). Gemini 2.5. <https://gemini.google.com/app/f8632b49af2cdfef9>

Un códice de Theophrastus, no tan conocido, y denominado «Tratado sobre las piedras», *On Stones*, *Περὶ λίθων*, o *De Lapidibus*, fue probablemente el primero donde se describen docenas de rocas y minerales, sus usos y lugares de extracción. Este tratado parece ser el más antiguo de los volúmenes científicos (filosóficos naturales) que se conservan de Theophrastus. Según Keyser [6], el tratado se podría atribuir al 315-314 a. C., ya que Theophrastus data un descubrimiento de unos noventa años antes de esa fecha, durante el arcontado (magistratura de la ciudad) de Praxiboulo; si el tratado hubiese sido escrito en cualquier otra fecha, no habría ningún motivo para referirse al año 315-314 a. C.

Los escritos de Theophrastus cubren una amplia gama de tópicos universales, como: «Meteorología» (330-270 a. C.), «Leyes» (317 a. C.), «Sobre el Agua», «Sobre el

Viento», «Sobre el Fuego», «Botánica (297 a. C.) y «Metafísica» [6]. Además, sus tratados botánicos y mineralógicos proporcionaron bases sólidas para investigaciones posteriores, habiendo servido como estándares durante más de dos milenios. Fue el primer pensador griego en observar y registrar la presencia de las manchas solares, lo cual quedó plasmado en los fragmentos sobrevivientes de su tratado *De Signis Tapestatum* [7]. Murió a los 85 años de edad, en la ciudad de Atenas, donde la población lo honró con un multitudinario funeral público [4].

Los Lapidarios

Se conoce como lapidarios un tipo particular de obra o manuscrito literario, a menudo en formato de códice, cuya finalidad es la descripción y narración de minerales, piedras y gemas, donde resaltan las características físicas (como la apariencia, color, dureza) de estos elementos naturales, a los cuales la tradición ancestral les confirió atributos como poderes mágicos y terapéuticos [8]. La mayor parte de los textos originales de los lapidarios antiguos se han perdido, pero se conocen fragmentos de su contenido por haber sido fuentes de obras posteriores, así como por diversos manuscritos realizados por copistas a partir del siglo XIV-XV, bajo el nombre de Lapidarios griegos, por estar escritos en esta lengua [8]. El más antiguo lapidario existente, y que trata de rocas y minerales, es el de Theophrastus. Según se infiere de la lectura de los textos, solo se ha conservado una porción, ya que hay citas en el mismo que se han perdido. El texto original del denominado «Tratado sobre las piedras» de Theophrastus fue muy probablemente escrito cerca del final del IV siglo a. C. [4]. Según Carrasco et al. [9], esta obra se compone de 73 párrafos o epígrafes, aunque según otros autores son solo 69 [4, 10].

Los manuscritos o códices más antiguos en griego que se conservan de la obra de Theophrastus son: *Vaticanus 1302*, *1305* y *Vaticanus Urbinas 108*, probablemente escritos en el siglo XV, aunque el primero pudiera ser anterior, probablemente del siglo XII o XIV [4], el texto en griego impreso, más antiguo del cual se conoce solo una parte de la obra de Theophrastus, y que circuló entre los eruditos, fue la *Editio princeps* (1495-1498), también llamada edición Aldina, por Aldus Manutius (1449-1515), impresa en Venecia [4]. Esta obra *Editio princeps*, versa acerca de Aristóteles, Theophrastus y otros autores; siendo publicada en cinco volúmenes entre los años 1495 y 1498, donde el segundo volumen (1497) es el que corresponde a Theophrastus, en las

páginas 254-260 (Figura 2). Posteriormente, autores tan famosos como el médico y farmacéutico alemán Georgius Bauer Agricola (1494-1555), científico y además autoridad en griego clásico, escribió el libro: *De re metallica* (1556), en el que expone las contribuciones pioneras a la geología minera, recogiendo numerosas de las descripciones y comentarios de Theophrastus [11].



Figura 2. Parte superior de la primera página en la versión de: ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΥ ΠΕΡΙ ΛΙΘΩΝ («De Theophrastus sobre las piedras»), publicada en 1497 por Aldus Manutius (Venecia).

Fuente:

<https://mineralogicalrecord.com/new/bibliography/theophrastus/>

Años después, la primera traducción al latín del «Tratado sobre las piedras», fue difundida ampliamente en los círculos científicos, y correspondió a Adrianus Turnebus (1512-1565), quien la culminó antes de 1565 y fue publicada en París, unos años más tarde, en 1578 (Figura 3), después de la muerte del autor. La primera traducción a un lenguaje moderno que se conoce de la obra de Theophrastus corresponde a Ferrante Imperato (1525-1615), un boticario y naturalista de Nápoles, quien en 1599 tradujo parte de los textos al italiano, probablemente a partir de alguna edición existente en latín durante su época. El mismo autor afirma que la traducción de los textos de Theophrastus se realizó con gran dificultad, tras recuperar dichos escritos, de una copia muy deteriorada [10].

El libro del tratado de historia natural escrito por Ferrante Imperato comienza con un capítulo que, según dice explícitamente, está tomado de Theophrastus («Di Theophrasto»), donde describe varias rocas, seguido de un capítulo que contiene la propia evaluación de Imperato sobre las observaciones y conclusiones previas del autor griego. El capítulo siguiente, también escribe Imperato, está tomado de Theophrastus, y trata sobre las diferencias entre las gemas, incluidas aquellas

artificiales [10]. Estos dos capítulos de este texto en italiano son los únicos donde se menciona explícitamente que la fuente original de los mismos fue de Theophrastus.

A pesar de la importancia fundamental de los escritos de Theophrastus, la primera impresión de una versión traducida al inglés no apareció sino hasta 1746, escrita por John Hill [12], seguida muchas décadas después por otras traducciones al francés y al alemán, pero basadas la mayoría en la obra de Hill [10]. No es sino finalmente, hasta mediados de la década de los años cincuenta del siglo XX, donde aparece un libro muy completo, conteniendo los textos en griego y su traducción al inglés, con comentarios, denominado «Las Piedras de Theophrastus» [4].



Figura 3. Portada de *Theophrasti De Lapidibus Liber*, por Adrianus Turnebus (1578). Fuente:

https://mineralogicalrecord.com/new_biobibliography/theophrastus/

El «Tratado Sobre Las Piedras»

En líneas generales, las ideas y conceptos de Theophrastus sobre el origen y la naturaleza de las

sustancias minerales, se basan en las de sus maestros, Platón y Aristóteles, incluyendo la idea de este último, de que no existía ninguna clase de cuerpo rocoso mas allá de la Luna, sino únicamente los planetas conocidos [4]. Desde un punto de vista histórico, el «Tratado sobre las piedras» reviste especial interés porque representa, el primer intento de analizar las sustancias minerales de forma sistemática. Cabe destacar de esta obra la casi total ausencia de explicaciones mágicas o sobrenaturales, ya que gran parte de los estudios en este campo escritos en los siglos posteriores, en particular los lapidarios medievales, se centran en gran medida en los supuestos poderes mágicos o curativos de los minerales, piedras preciosas y de los materiales terrosos. De hecho, durante casi dos mil años, el tratado de Theophrastus fue el intento más racional y organizado de estudiar rocas y minerales, su origen, su uso y dónde se localizaban.

En el texto, Theophrastus detalla diferentes tipos de mármol; menciona el lignito, que según él es utilizado por los metalúrgicos para fundir metales; describe diversos minerales metálicos como oro, plata y cobre. Menciona por primera vez las técnicas para extraer el mercurio a partir del cinabrio; y alude a conocimientos como el que la pumita (clara) o la escoria (oscura) tenían un origen volcánico. También trata acerca de piedras preciosas como esmeraldas, amatistas, turmalinas, granates, ónix, jaspe, etc., y describe una variedad de zafiro azul con vetas de oro, presumiblemente el lapislázuLi [4, 12]. Theophrastus tenía conocimiento de que las perlas provenían de bivalvos marinos, que el coral era de origen marino y que los mejores ejemplares provenían de la India. Por último, indica acerca de posibles restos fosilizados, cuando menciona el marfil excavado.

Alude en varios epígrafes al ámbar (resina de plantas) y a su propiedad de atraer objetos. Hoy día sabemos que el ámbar tiene la capacidad de atraer objetos ligeros debido a la electricidad estática que se genera al frotarlo, ya que se produce una transferencia de electrones, lo que crea una carga eléctrica en el ámbar y hace que atraiga partículas livianas como trozos de papel o cabellos. Este fenómeno se observó desde la antigüedad, y de ahí se considera el origen de la palabra «electricidad», derivada del adjetivo neolatino electricus, proveniente a su vez del griego *elektron*, que significa ámbar [13].

Señala la característica magnética del mineral de magnetita (*Heraklea*). También considera los usos prácticos de diversas piedras para construcción y esculturas, como yeso, mármol y alabastro. Sugiere que el vidrio está hecho a partir de someter cierto tipo de tierras a la acción del fuego. Reseña por primera vez en un texto que la adición de cobre tiene la propiedad de colorear dicho vidrio. Describe la producción de diversos pigmentos para pintura, las diferentes variedades del ocre y los elementos para la fabricación de mortero.

A continuación, se mencionarán algunos ejemplos de textos o epígrafes del tratado de Theophrastus y su probable significado o interpretación, con comentarios dentro del contexto mineralógico. La numeración y los epígrafes se tomó de dos de las más usadas traducciones modernas [4, 14].

Epígrafe 1 *De las sustancias que se forman en el suelo, algunas están hechas de agua y otras de tierra. Los metales obtenidos mediante la minería, como la plata, el oro, etc., provienen del agua; de la tierra provienen las piedras, incluyendo las más preciosas, y también los tipos de tierra que son inusuales por su color, suavidad, densidad o cualquier otra cualidad.*

Este primer epígrafe de Theophrastus y los subsiguientes, se enfocan principalmente en la distinción entre las llamadas piedras, que se encuentran en grandes masas en forma de roca, y los diversos minerales de tamaño más pequeño y más escaso, así como las propiedades distintivas de cada uno, basados en un análisis sistemático de color, dureza, densidad, brillo, etc.

Epígrafe 4 *... Algunos tienen el poder de atracción y otros pueden probar el oro y la plata, como la piedra llamada Heraclea y la llamada Lidia.*

La denominada piedra Heraclea, era un nombre común para el óxido de hierro magnético nativo [4] o magnetita (Fe_3O_4), de ahí la mención de Theophrastus acerca de su poder de atracción. La denominación de Heraclea probablemente está relacionada con la figura mítica de Heracles (Hércules), debido a su fuerza y poderes extraordinarios.

La piedra de Lidia era probablemente la aún llamada hoy día, piedra de toque (*touchstone*) [4]. Esta consistía en una pequeña tablilla de piedra oscura, como la

pizarra, la basanita o la radiolarita, utilizadas durante miles de años, para reconocer la pureza principalmente del oro y en menor medida de la plata, ya que dichos metales blandos dejan una huella visible al rayarla, y cuya intensidad se relacionaba con su contenido o pureza del metal. A pesar de que esta piedra se conocía desde tiempos antiguos, la descripción en el texto de Theophrastus es la primera de la cual se tiene referencia escrita [11].

Epígrafe 6 *Las diferencias debidas al color, la dureza, la suavidad, la tersura y otras cualidades similares, que otorgan a las piedras su especial excelencia, se encuentran en muchas variedades, y en algunas se encuentran en toda una región. Entre estas piedras se encuentran la de Paros, la del Pentélico, la de Quíos y la de Tebas, cuyas canteras se han vuelto ampliamente conocidas. También existen las alabastritas halladas en Tebas, Egipto, que también se pueden trabajar en grandes bloques, y la piedra parecida al marfil, llamada chernitas; se dice que Darío fue enterrado en un sarcófago de este material*

Solo en esta sección y en la siguiente, Theophrastus menciona los mármoles y otras piedras utilizadas para la elaboración de estatuas. Parece considerar aquí, los mejores ejemplos de estos materiales, en los que se aprecian ciertas propiedades distintivas, mencionando las canteras de la isla de Paros (mar Egeo), famosas en la antigüedad por su excelente mármol [4]. Nombra también las *alabastritas*, piedras particulares halladas en canteras cerca de la Tebas egipcia o sus alrededores, por lo que debe estarse refiriendo a una variedad de yeso, aún tan abundante en esta zona del valle del Nilo. En su tiempo, las *alabastritas* eran también denominadas «alabastro oriental», para distinguirlo del verdadero alabastro, un sulfato de calcio hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). La mención del sarcófago de *chernita* probablemente se refiera al mármol de ónix, usado en la elaboración de objetos funerarios en Egipto [4].

Epígrafe 16 *Entre las sustancias que se extraen por su utilidad, las llamadas simplemente carbones están hechas de tierra, y se les prende fuego y se queman como el carbón vegetal. Se encuentran en Liguria, donde también se encuentra el ámbar, y en Élide, cuando se va por el camino de montaña hacia Olimpia; y actualmente son utilizados por los trabajadores de los metales.*

El uso del lignito apenas se menciona en textos de la literatura antigua griega [4], por lo que lo referido aquí

por Theophrastus, parece el único texto antiguo que toca el tema. Con solo la mención de Theophrastus, no se puede saber con certeza hasta qué punto se utilizó el lignito como combustible general, ya que solo afirma que los metalúrgicos lo utilizaban. Probablemente lo consideraban especialmente valioso para el funcionamiento de forjas y hornos, algo inusual en la época, ya que solo era de uso masivo la madera y el carbón vegetal.

Epígrafe 25 *La mayor de las piedras que muchos llaman tanoi es la de Tiro. Pues hay una gran losa en el templo de Heracles, a menos que se trate de un falso smaragdos, pues existe una especie de ese tipo. La piedra se encuentra en lugares bien conocidos y de fácil acceso, especialmente en dos de ellos: las minas de cobre de Chipre y la isla frente a Calcedonia. En esta última se encuentran piedras excepcionales. Esta especie se obtiene mediante minería, como las demás, y la naturaleza la ha producido por separado en muchas vetas de Chipre.*

Posiblemente, *tanoi* era el nombre propio de la turquesa verde, y la gran losa de Tiro mencionada en el texto de Theophrastus estaba compuesta en realidad de otro material que solo se parecía a este mineral [4]. Theophrastus parecía tener esa posibilidad en mente, al sugerir que el material de la losa pudo haber sido un «falso smaragdos» en lugar de *tanoi*. Los mismos autores [4], argumentan que es probable que Theophrastus obtuviera parte de su información sobre esta enorme losa verde de Heródoto, quien visitó Tiro [15] y vio esta notable columna.

El denominado «falso smaragdos» se trata posiblemente de malaquita, ya que se han encontrado grandes bloques de la misma en varias minas de cobre [4]. Probablemente, el término se aplicaba solo a la malaquita masiva, que era lo suficientemente buena como para usarse con fines ornamentales.

Epígrafe 26 *No suelen encontrarse lo suficientemente grandes para un sello, pero la mayoría son más pequeñas; por esta razón, la piedra se usa para soldar oro, ya que se suelda como la chrysokolla. Algunos incluso suponen que su naturaleza es la misma, pues ambas tienen un color similar. Sin embargo, la chrysokolla se encuentra en grandes cantidades en las minas de oro y aún más en las de cobre, como en las cercanas a los ... distritos.*

Theophrastus menciona la crisocola, un silicato de cobre hidratado ($\text{Cu}_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), en varios de sus epígrafes, como un mineral que se obtiene de minas. Aunque Theophrastus no lo describe en ninguna parte, su repetida alusión a su presencia en minas de cobre indica claramente que se trataba de este mineral. En el epígrafe 39, se dice que la crisocola se encuentra en el *kyanos* nativo (cobre azul), que era muy probablemente por el color, azurita, un carbonato hidratado de cobre ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), por lo tanto, es probable una confusión entre la crisocola y malaquita, un carbonato de cobre verde ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$). De hecho, ambos minerales se encuentran con frecuencia juntos y tienden a confundirse entre sí.

Epígrafe 37 Pero hay otros, como el marfil cavado que está veteado con marcas blancas y oscuras...

El marfil cavado mencionado por Theophrastus, seguramente se refiere a material enterrado, derivado de colmillos o molares de animales fósiles. Restos fosilizados de proboscídeos extintos se conocían desde la antigüedad en la región. Los griegos seguramente descubrieron, por ejemplo, restos de *Deinotherium*, un animal parecido al elefante (el cual ha sido encontrado fósil en la isla de Creta), o de *Palaeoloxodon*, otro proboscídeo encontrado en Sicilia, y que la mitología griega asoció con la existencia de cíclopes, para explicar el enorme agujero en el centro del cráneo [16]. La alusión a manchas blancas y oscuras, seguramente corresponde a la decoloración del material durante su soterramiento [17].

Epígrafe 38 *El coral, que es como una piedra, es rojo y redondeado como una raíz, y crece en el mar. Y, en cierto modo, la caña india petrificada no difiere mucho del coral en su naturaleza. Pero este es un tema para otra investigación.*

Desde la antigüedad, el coral rojo se explotaba en diversos lugares del Mediterráneo. No está claro en el texto si Theophrastus lo consideraba un animal, una roca o una planta, aunque un capítulo acerca de los corales se incluyó en su código de animales marinos [4]. Al compararlo con el *kálamos indikós* (bambú) petrificado, muy probablemente se esté refiriendo, a un vegetal fósil del tipo equisetos [9].

Epígrafe 50 También sería posible determinar las diferencias que se adaptan naturalmente a la transformación de la tierra en piedra; pues las que se

deben a la localidad, que causan diferentes tipos de sabores, tienen su propia naturaleza peculiar, como las que afectan a los sabores de las plantas...

En este epígrafe, Theophrastus parece implicar que las diferencias naturales en el medioambiente, son causantes de las diferentes propiedades de las tierras, y que estas a su vez causan diferencias en las plantas, posiblemente mencionando la palabra sabores como una indicación de que el gusto al paladar de los productos agrícolas cultivados, cambia según el tipo de tierra donde se cultiven, asociado esto al tipo de roca madre que genera un suelo [17].

Epígrafe 51 *Todos se encuentran en minas de plata y oro, y algunos en minas de cobre, como el oropimente, el rejalgar, la chrysokolla, el ocre rojo, el ocre amarillo y el kyanos. Este último se encuentra raramente y solo en pequeñas cantidades, mientras que existen vetas de algunos de los otros, y se dice que el ocre amarillo se encuentra en grandes cantidades. Existen todo tipo de ocre rojo, por lo que los pintores pueden usarlo para pigmentos color carne ...*

Cabe señalar que los escritores antiguos a menudo mencionan estas sustancias minerales juntas (oropimente y rejalgar), ya que esto ayuda a identificarlas como los dos sulfuros nativos de arsénico. Theophrastus ya las menciona juntas en el epígrafe 40 y de nuevo en el 50 [4]. El oropimente es un sulfuro de arsénico amarillo nativo (As_2S_3), y el rejalgar, sulfuro de arsénico rojo anaranjado nativo (As_4S_4), casi siempre aparecen juntos y a menudo se encuentran entremezclados en la misma muestra [17].

En el mismo epígrafe, Theophrastus hace un uso extenso del término ocre rojo, y según algunos autores [4], no cabe duda de que la palabra *μῖλτος* en el texto en griego, designa lo que hoy continuamos llamando ocre rojo, una mezcla de óxido férrico rojo con arcilla y arena. Probablemente Theophrastus lo usaba como un término genérico, para incluir todos los pigmentos que deben su color a la presencia de óxidos férricos de color rojo [17].

Epígrafe 58 *También hay un tipo de cinabrio natural y uno preparado. El cinabrio de Iberia, que es muy duro y pedregoso, es natural, al igual que el que se encuentra en Cólquida. Dicen que este se encuentra en los acantilados y que se derriba con flechas que se le disparan. El tipo preparado proviene de un solo lugar, un poco más arriba de Éfeso. Es una arena que brilla*

intensamente y se asemeja al tinte escarlata; esta se recoge y se muele en vasijas de piedra hasta que esté lo más fina posible; luego se lava en vasijas de cobre ... y lo que queda se toma, se muele de nuevo y luego se lava. Se necesita habilidad para este proceso; pues algunas personas hacen mucho y otras poco o nada con una cantidad igual de arena. El lavado se hace desde arriba, y se humedecen porciones separadas una tras otra; lo que queda en el fondo es cinabrio, y los lavados son lo que queda arriba en mayores cantidades.

Caley y Richards [4] sugieren que la mención del cinabrio de Iberia en el epígrafe 58 (Figura 4), corresponde a una región de la actual Georgia, y no de España. De esta Iberia y de la región de Cólquida (en la costa este del mar Negro), se extraía cinabrio en terrenos montañosos, lo que a su vez sugiere que el distrito minero estaba situado en la parte noreste de Cólquida, en el Cáucaso. Según Theophrastus describe, es evidente que el proceso de obtención implicaba lavados sucesivos y que se trataba de un método para separar el cinabrio puro, lo cual se basa en las diferencias de sus gravedades específicas. La gravedad específica del cinabrio puro es de 8,1-8,2 g/cm³, mientras que la de la ganga mineral en la que suele encontrarse es inferior a tres.

El cinabrio (HgS) es un mineral muy denso, lo que se considera una ventaja en el procesamiento industrial, ya que permite su concentración mediante métodos basados en la gravedad. Por lo tanto, y según la descripción de Theophrastus, cuando el mineral bruto molido se suspendía en agua, el cinabrio sedimentaba más rápidamente que las impurezas, por lo que, mediante una manipulación hábil, podían eliminarse con el agua. Este relato de Theophrastus es posiblemente la descripción más antigua en el mundo occidental, del proceso de separación de un mineral puro de sus impurezas asociadas, por lo tanto, esta narración del método utilizado en las minas de cinabrio cerca de Éfeso, reviste un enorme interés histórico. La misma, describe notablemente una reacción mecanoquímica para extraer el metal puro de un compuesto, específicamente mercurio (Hg), a partir del cinabrio [18].

Epígrafe 69 *Gypsos también se queman en Fenicia y Siria, donde se cuecen en un horno. Se queman especialmente los mármoles, así como las piedras más comunes, mientras que se coloca estiércol de vaca junto a las más duras para que ardan mejor y más rápido.*

Parece calentarse muchísimo al prenderle fuego y se mantiene caliente durante mucho tiempo. Y al calcinarse, se pulveriza como cenizas. De esto se desprende claramente que su naturaleza se debe enteramente al fuego.

Theophrastus señala en su texto, que el mármol se utilizaba para producir yesos, aunque hoy día sabemos que no se puede obtener yeso a partir de calentar el mármol, ya que son dos materiales completamente diferentes. Sin embargo, el texto lo que demuestra es que la cal viva, que es el producto que se obtiene cuando el mármol se somete a un calor intenso, era una de las sustancias enumeradas bajo el término yesos dentro de su tratado.

58 γίνεται δὲ καὶ κοινάβαρι τὸ μὲν αὐτοφύει τὸ δὲ κατ' ἐργασίαν. αὐτοφύει μὲν τὸ περὶ Ἰβηρίας σκληρὸν σφόδρα καὶ λιθοῦδες, καὶ τὸ ἐν Κάλχους. τοῦτο δὲ φασὶν εἶναι (ἐπὶ) κρημνῶν ὃ καταβάλλουσι τοξεύοντες. τὸ δὲ κατ' ἐργασίαν ὑπὲρ Ἐφέσου μικρὸν ἐξ ἑνὸς τύπου μόνον. ἔστι δ' ἄμμος ἣν συλλέγουσι λαμπυρίζουσαν καθάπερ ὁ κόκκος· ταύτην δὲ τρέφοντες ὥστε ἐν ἀγγείοις λιθῶδες λεωτάτην πλύνουσι ἐν χαλκοῖς [μικρὸν ἐν καλοῖς] τὸ δ' ὑφιστάμενον πάλιν λαβύοντες πλύνουσι καὶ τρίβουσι, ἐν ᾧ περ ὅστι τῆς τέχνης· οἱ μὲν γὰρ ἐκ τοῦ ἴσου πολὺ περιποιούσιν, οἱ δ' ὀλίγον ἢ οὐθέν· ἀλλὰ πλύνματι (τῷ) ἐπ' αὐτῷ χράνται ἐν πρὸς ἐν ἀλείφοντες. γίνεται δὲ τὸ μὲν ὑφιστάμενον

Figura 4. Texto en griego del epígrafe 58 de Theophrastus.
Fuente: [4].

REFLEXIONES FINALES

En su trabajo «Tratado sobre las piedras», Theophrastus clasificó y describió con detalle cerca de 70 ejemplares, incluyendo rocas, minerales, probablemente fósiles, y materiales terrosos. Hizo una de las primeras clasificaciones conocidas de materiales según sus propiedades como dureza, densidad, color y brillo. Describió métodos de minería, extracción y usos prácticos de estos materiales, incluyendo los que se usaban tanto para pigmentos, como para materiales de

REFERENCIAS

- [1] Casas, J. E. Geomitología ¿una conexión entre el Diluvio Universal, la desaparición de Doggerland y la Atlántida? Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat 65(4): 75-88. <https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2024/12/geomitologia-%c2%bfuna-conexion-entre-el-diluvio-universal-la-desaparicion-de-doggerland-y-la-atlantida.-jhonny-e-casas.pdf> (2024).
- [2] Ierodiakonou, K. "Theophrastus", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/theophrastus/> (2020).
- [3] Casas, J. E. Alejandro Magno y la utilización de elementos geológicos, como parte de la estrategia para conquistar la Ciudad de Tiro (332 a. C.). Su impacto pasado y presente. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat 68(3), 23-29 (2025) <https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2025/10/Alejandro-Magno-y-el-uso-de-elementos-geologicos-para-derrotar-a-la-ciudad-de-Tiro-Su-impacto-pasado-y-presente.-Jhonny-Casas.pdf> (2025).
- [4] Caley, E.R. and Richards, J.F. Theophrastus on Stones. Graduate School The Ohio State University. Columbus. Monographs. Contributions in Physical Science 1, 238 p. (1956). https://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos_01/THEOPHRASTUS_CALEY.pdf

construcción y ornamento. Su código fue el texto de referencia sobre el tema durante casi dos mil años, hasta el Renacimiento. Su obra, se considera una especie de tratado o manual de mineralogía, que sentaba las bases del estudio sistemático y organizado de los materiales pétreos de la Tierra. Por todas esas razones, Theophrastus tiene todo el mérito de ser reconocido como el «padre fundador de la mineralogía».

Como nota curiosa, un grupo de científicos del Departamento de Estudios Mediterráneos, en la Universidad de Aegea, Grecia [19], se dieron a la tarea de usar las instrucciones del «Tratado sobre las piedras», para generar los pigmentos denominados por Theophrastus: *Kyanos* y *Psimithion*, los cuales corresponden al azul egipcio y al blanco plomo. Una vez generados los pigmentos en el laboratorio, se compararon con muestras de la misma época en la que vivió Theophrastus, obtenidas por los autores, de diferentes sitios arqueológicos (una tumba al norte de Atenas y otra de la Acrópolis). Usando técnicas analíticas de SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRD (*X-ray Diffraction*) y IRPAS (*Infrared Photoacoustic Spectroscopy*), los autores [19], confirmaron la correspondencia de los pigmentos generados a partir de las instrucciones de Theophrastus, con los encontrados en las tumbas helenísticas.

- [5] Linnaeus, C. Fundamenta botanica. Salomonem Schouten. 40 p. <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/11535-fundamenta-botanica?offset=2> (1736).
- [6] Keyser, P. Theophrastus. In Keyser, P. and Irby-Massie, G. (eds.). The Encyclopedia of Ancient Natural Scientists: The Greek Tradition and its many heirs. Routledge, New York. 1,062 p. (2008).
- [7] Hardy, R. Theophrastus' observation of sunspots. J. Br. Astron. Assoc. 101(5), 261 (1991).
- [8] Liñán, E. La criptopaleontología en los lapidarios griegos apócrifos, Revista Española de Paleontología, 20(2), 119-126 (2005). <https://turia.uv.es/index.php/sipalaeontology/article/view/20550/18272>
- [9] Carrasco, J., Liñan, E., Liñan, M., Gámez, J. y Gozalo, R. Análisis criptopaleontológico del lapidario de Teofrasto (s. III a.C.). Estudios Geológicos, 69(1), 115-122, (2013). doi:10.3989/egeol.40933.215 <https://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/view/879>
- [10] Mottana, A. The first modern translation of Theophrastus "On Stones" (De lapidibus): Ferrante Imperato (1599). Rend. Fis. Acc. Lincei. 21, 1–25 (2010). https://www.academia.edu/29027173/The_first_modern_translation_of_Theophrastus_On_Stones_peg%C4%B1k%C3%ADhxm_De_lapidibus_Ferrante_Imperato_1599
- [11] Agricola, G. De Re Metallica. English translation by: Hover, H. and Hoover, L. 1950. Dover Publications, New York, 675 p. <https://ia601302.us.archive.org/4/items/deremetallica50agri/deremetallica50agri.pdf> (1556).
- [12] Hill, Sir John F. Theophrastus's History of Stones. London. https://en.wikisource.org/wiki/Theophrastus%27s_History_of_Stones/History_of_Stones (1746).
- [13] Gilbert, W. De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure; Physiologia Nova Plurimis & Argumentis, & Experimentis Demonstrata. London, 256 p. https://archive.org/details/bub_gb_Mbo2oDsnrAAC (1600).
- [14] Eichholz, D.E. Theophrastus: De Lapidibus. Oxford University Press. 141 p. <https://archive.org/details/delapidibusedite000theo/page/n5/mode/2up> (1965).
- [15] Casas, J.E. Heródoto: Historiador, Etnógrafo, Geógrafo y ¿Geólogo?. Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, LXXXV(2), 7-22 (2025). <https://acfiman.org/wp-content/uploads/2025/09/Boletin-LXXXV-n%C2%B02-2025-Jhonny-Edgar-7-22.pdf>
- [16] Romano, M. and Avanzini, M. The skeletons of Cyclops and Lestrignons: misinterpretation of Quaternary vertebrates as remains of the mythological giants, Historical Biology 31(2), 1-28 (2017). <http://dx.doi.org/10.1080/08912963.2017.1342640> (2017).
- [17] Casas, J. Theophrastus (371 - 287 a. c.) el «Padre fundador de la mineralogía». Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, LXXXVI(1), 3-10 (2026). <https://acfiman.org/boletines/>
- [18] Takacs, L. Quicksilver from cinnabar: The first documented mechanochemical reaction?. Archaeotechnology 52, 12–13 (2000). <https://doi.org/10.1007/s11837-000-0106-0>
- [19] Katsaros, T., Liritzis, I. and Laskaris, N. Identification of Theophrastus' pigments egyptios yanos and psimythion from archaeological excavations, ArcheoSciences 34, 69-80 (2010). <https://journals.openedition.org/archeosciences/2632>



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 39 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 67 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Academia de Ciencias, Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos en el boletín AAPG Explorer. Autor de mas de 65 artículos de divulgación científica. Profesor de Geología del Petróleo (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2025), en la Universidad Central de Venezuela. Mentor en 12 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023). Advisory Counselor para AAPG LACR (2023-2026)

ANÁLISIS HISTÓRICO SOBRE LA LAGUNA DE CATIA, CARACAS

José Antonio Rodríguez Arteaga¹

¹rodriguez.arteaga@gmail.com

Colaborador de la Revista

RESUMEN

Escribir sobre la transformación de paisajes hídricos desaparecidos como las antiguas lagunas de Caracas en las que se incluye la laguna de Catia en particular, requiere de un equilibrio entre la “nostalgia histórica” y el “rigor técnico”.

El análisis de la evolución topográfica de Caracas como un todo, revela la presencia de importantes humedales y lagunas en sectores claves de la ciudad. Estos cuerpos de agua, documentados en la cartografía de principios del siglo XX, poseían dimensiones y dinámicas de drenaje que condicionaron el desarrollo vial y civil de la ciudad *a posteriori*.

El presente artículo intenta reconstruir los límites, no de estas zonas lacustres, sino de una en particular, la laguna de Catia y sus antecedentes, con algunas fotos de época y cartografía, sin llegar a una publicación técnica *sensu stricto* de la cual se ha encontrado por lo pronto y ha sido utilizada por algunos cronistas caraqueños en la elaboración de su ensayo. En el caso que nos ocupa se ha empleado material histórico relativo a Caracas y una que otra mirada al pasado familiar de una jovencísima abuela que figura sin mencionarla en el relato.

INTRODUCCIÓN

Es la laguna de Catia, la que se centra al oeste capitalino, escasamente conocida por la “caraqueñidad” del siglo XXI; aquella que “le ganó” terreno a la naturaleza entre los años 1916-1940 de la que trata este análisis.

La configuración actual de la que bien se pudiese llamar la “*Catia subterránea*”, guarda una densa trama entre el asfalto vial y el concreto en general, en lo que fue un pasado de cuencas endorreicas y un cuerpo de agua estacional. La desaparición de tal *espejo de agua*, forzada por el crecimiento urbano y las políticas de saneamiento post-decimonónico, representa uno de los capítulos más drásticos en la evolución del paisaje capitalino, pues a principios del siglo XX, la laguna de Catia (Sánchez, 2011) era vista bajo la perspectiva médica y a la vez, mantuvo

presuntamente la disciplina de diseño urbano que dominó la planificación caraqueña a principios del siglo XX y que precedió al que actualmente vivimos.

En aquella época de la *Caracas de los techos de los techos rojos*, las lagunas no se veían como “*paisajes naturales*” o “*ecosistemas*”, sino como “*aguas estancadas*”, término al que se le imputaba un estigma de carácter científico y social de gran peso.

Para la élite médica de los gobiernos de Juan Vicente Gómez (1857-1935) y Eleazar López Contreras (1883-1973), el control *palúdico* era prioridad de Estado ya que, en el *imaginario popular y científico*, las lagunas de Caracas - como la de Catia o aquella de los Magallanes de Catia - eran percibidas como focos de “*miasmas*”, bajo la creencia que el “*mal aire de las aguas quietas enfermaba a la población*”.

Contradice a esta idea de la “ciudad higiénica seca, pavimentada y canalizada” con la del modernismo traída de la época de Antonio Guzmán Blanco (1829-1899).

El paisaje caraqueño post-guzmancista, no se “*medía*” solo en estructuras, sino en la quietud de sus aguas.

Sectores que hace más de un siglo constituyeron desuniones viales o zonas residenciales fueron extensas lagunas que formaban parte del pulso natural del valle. Recuperar la memoria de estas aguas olvidadas es esencial para comprender por qué aún la ciudad se inunda por las lluvias, cómo se construyó y qué rumbos tomó su modernización a costa de su aspecto original.

MEMORIA PARCIAL DE LA LAGUNA DE CATIA

Aunque en la década de los años 40’s presuntamente para darle paso a lo moderno, dicha laguna seguía viva, en las páginas de algunos cronistas que se negaron a dejarla en el olvido.

La Laguna de Catia, o lo que queda de ella - si algo queda – se encuentra en el subsuelo del actual Hospital Periférico y la Plaza de Catia y sus aguas fueron drenadas en la década de 1940 para darle paso a la actual en un incipiente siglo XX. La laguna data del año 1557 y sita su poblado en la denominada Catia pues a partir de lo que fue la conexión entre el pueblo cuya fundación se remonta a la época de Francisco Fajardo y su segundo viaje de conquista del Valle de San Francisco, construye un primer asentamiento que denomina “*Villa de Catia*”, el centro de Caracas y cuyos orígenes primigenios han de buscarse en lo que hoy se conoce como la avenida Sucre, principal

arteria vial del noroeste de la ciudad. Era ella un depósito natural de la quebrada Caroata, que recibía las aguas de sus afluentes: Agua Salud, Agua Salada, El Polvorín, Tacagua y Blandín las cuales se acumulaban en una cuenca del valle de Caracas (Fig. 1). Durante siglos a partir del XVI; surtirá cual “*pulmón hídrico*” a toda la zona oeste capitalina.

La Laguna de Catia tuvo en 1916 una extensión de 487.500 m² (1.100 m. de longitud por 750 m. de ancho); en 1934, de acuerdo al ingeniero Eduardo Röhl y las mediciones que

el mismo efectuara en la elaboración de su «*Plano de Caracas y sus alrededores*» (Fig. 2) contaba con un área de 35.100 m² (360 m. de longitud y 150 m. de ancho); y finalmente en 1940, momento en el cual se decide colmatarla llevándola a solo 1.500 m² de superficie (225 m. de largo por 35 m. de ancho). Su profundidad siempre osciló entre los 12 y 10 metros y este recibía su recarga principalmente de los drenajes naturales y escorrentías que bajaban de las colinas circundantes y de las quebradas que nacían en la fila de El Ávila.



Fig. 1. Depósito natural de la quebrada Caroata. Fuente propia



Fig. 2. Mapa de Caracas, Autor: Eduardo Röhl, 1934
Fuente: <https://fundaayc.com/2018/01/14/postal-no-94/>

Aunque sus dimensiones lagunares variaban según las lluvias, ocupaba una extensión considerable que hoy abarcaría lo que bien se conoce como la Plaza Catia y el Hospital Periférico del mismo nombre.

La memoria de sus aguas

Sus aguas en aquellos tiempos de la vía a la modernidad se encontraron de pronto silenciadas por el concreto. Ello

responde las dudas de su existencia y desaparición. Su entorno era un ecosistema vivo, rodeado de vegetación que servía de refugio a la fauna local antes de que la expansión urbana la invadiera (Fig. 3).

Importante dato arroja el valle de Caracas. Aunque este drena mayoritariamente hacia el este por el río Guaire de cuyo comportamiento hemos escrito anteriormente, la

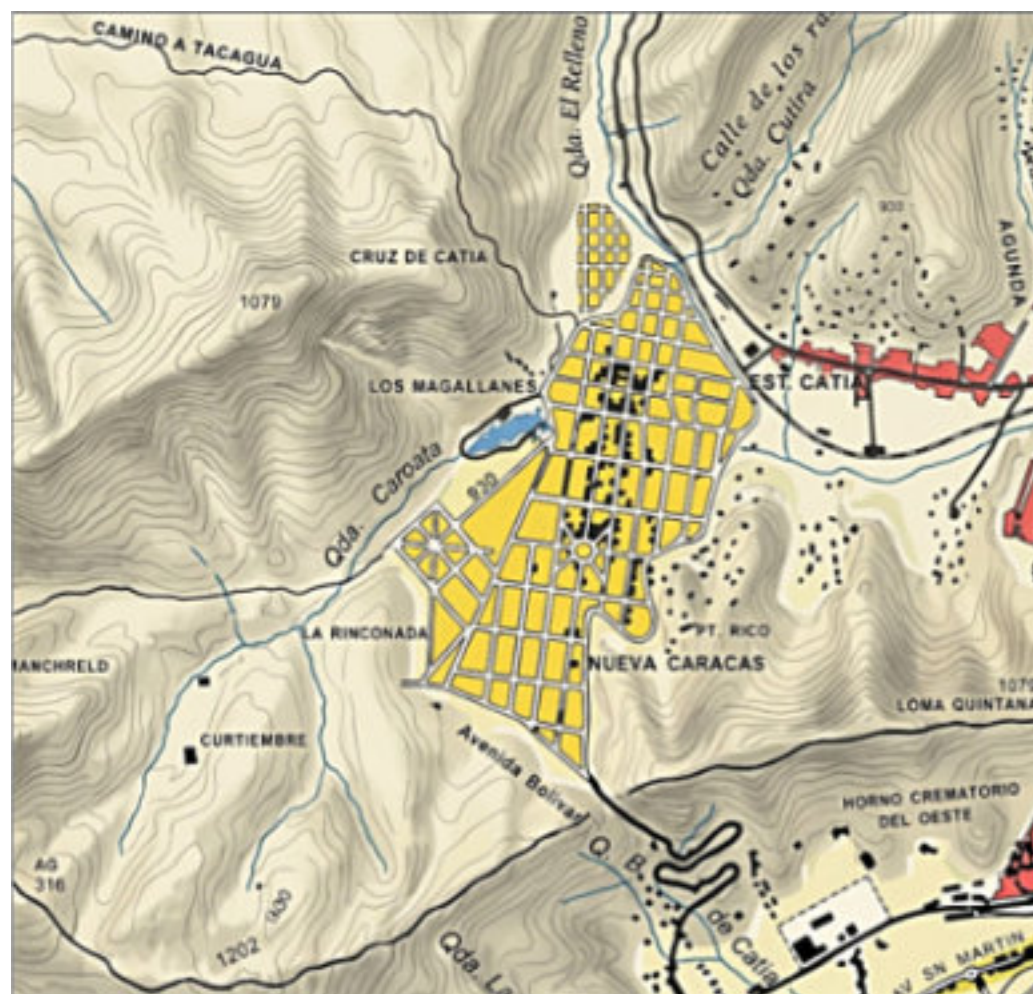


Fig. 3. Mapa redibujado y mejorado del sector de Catia. la laguna aparece en color azul cercana a la quebrada Caroata. Fuente original: *Los Planos de Caracas*. E. Röhl, 1934
Fuente: <https://fundaayc.com/2022/08/08/1940/>

configuración de Catia presentaba un comportamiento casi endorreico - cuenca cerrada -, creando las elevaciones circundantes una barrera natural, Su suelo caracterizado por partículas finas, tipo arcilla permitía que el nivel freático estuviese muy alto, impidiendo que el agua de las quebradas se infiltraran con rapidez hacia el cauce vital del principal drenaje de la ciudad, el río Guaire.

En su mayor esplendor, La Laguna de Catia fue el centro recreativo por excelencia de los habitantes capitalinos. Con detalles especiales: sus paseos en bote los fines de semana y la existencia del famoso bar "La Pulmonía" (véase la Fig.1) que estaba en una de sus orillas, Ahora ¿por qué el nombre?

El nombre de la taberna, no fue una coincidencia y menos una elección al azar; estaba profundamente ligado a las condiciones climáticas y ambientales de la zona a principios del siglo XX: (1) El clima helado de la zona, puesto que para la época Catia era significativamente más frío que el centro de Caracas debido a la altitud y a la presencia del cuerpo de agua, generaban una humedad constante y espesas neblinas que bajaban del Ávila. Se decía que, al salir de él, el "golpe de frío" era tan violento que los parroquianos bromeaban con que les daría una "pulmonía fulminante"; (2) Su nombre también contenía una dosis de humor negro caraqueño. El establecimiento era un lugar de refugio donde se consumían licores fuertes "para calentar el cuerpo". Al terminar la jornada y abrir la puerta para enfrentar el sereno de la madrugada cerca de la laguna, el cambio de temperatura era drástico (3) El bar y sus licores fuertes constituyeron durante muchos años lugar de esparcimiento y recreación popular para quienes utilizando el tranvía llegaban desde distintos sitios de

Caracas para remar en pequeñas lanchas de alquiler, merendar al aire libre o disfrutar de "su Pulmonía".

Relación de la Laguna de Catia con el higienismo

La literatura del caso además de las crónicas menciona que, a comienzos del siglo XX, existía una preocupación médica y social por las enfermedades respiratorias y las palúdicas.

La Laguna de Catia era vista por un presunto movimiento higienista como un foco de infección y humedad insalubre. Su nombre ironizaba sobre esa realidad: *un lugar social ubicado en medio de un entorno que la medicina de la época señalaba como peligroso para los pulmones*. Este establecimiento fue conocido como un punto de referencia de la Caracas que empezaba a expandirse hacia el oeste, antes de que el plan de urbanismo de los años 30's y los 40's terminaría por desecar la laguna para dar paso a la modernidad y a otras infraestructuras hacia finales del siglo XX (Figs. 4 y 5).



Fig. 4. Laguna de Catia a comienzos de siglo XX

Fuente: Arquitectura y Ciudad; <https://fundaayc.com/tag/laguna-de-catia/>



Fig. 5. Laguna de Catia que ocupaba aproximadamente lo que es hoy la zona de la Plaza Catia, el Mercado del mismo nombre y las áreas adyacentes hasta la avenida Sucre

Fuente: <https://lalagunadecatia-harrison.blogspot.com/>

Análisis cartográfico del área de la laguna (1916 vs. 1934)

La transformación entre los levantamientos topográficos del año 16' y el plano del 34' evidencia el triunfo de la que hemos definido como una presunta *ingeniería higienista* sobre la morfología natural del oeste de Caracas.

En el 16' la cartografía de la laguna de Catia aparece aún como un cuerpo de agua dominante, con contornos irregulares que dictaban la pauta del terreno y limitaban el crecimiento hacia el oeste. Para 1934, los mapas reflejan una mutación radical: el espejo de agua comienza a ser

fragmentado por una retícula geométrica de drenajes y rellenos proyectados. Esta transformación no fue accidental; el plano del 34' actúa como un documento de 'saneamiento', donde la prioridad técnica era la eliminación de las zonas pantanosas para sustituirlas por una plataforma urbana estable y libre de focos infecciosos, permitiendo así la consolidación de la Nueva Caracas. No será extraño que ya, en la modernidad, las edificaciones se fuesen construyendo a la par de la presencia de la misma laguna (Fig. 6)



Fig. 6. Laguna de Catia. Ubicación. (MOP, 1940). *Plano de Caracas*. Dicho hoja cartográfica fue intervenida en su momento por la empresa *Cromo Arquitectura Venezuela* para resaltar la misma).

Fuente: Modificado de <https://fundaayc.com/2022/08/08/1940/>

LOS DATOS DE EDUARDO RÖHL Y EL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICA (MOP)

Los planos técnicos de Eduardo Röhl

La cartografía de Eduardo Röhl (Fig. 7) en 1934 representa uno de los registros más precisos para el estudio de la antigua hidrografía de la ciudad. Este documento, realizado a una escala 1:30.000, es fundamental para reconstruir la geomorfología del valle antes de las grandes intervenciones urbanas del siglo XX. Para la época El centro histórico del cuerpo de agua se situaba en las

coordenadas 10° 31' 15" N y 66° 56' 55" O, con una "cubeta lagunar" aproximadamente a 900 m. s.n.m.

Dicha hoja cartográfica (era una sola) poseía a escala una extensión de 35.100 m²m indicativa de una disminución considerable con relación a los 480.000 m² que llegó a poseer en su etapa de mayor apogeo histórico. Este plano no solo sirvió como referencia espacial, sino como la base técnica para los estudios en geociencias y la evolución del urbanismo. Al documentar la laguna justo



Fig. 7. Eduardo Röhl

Fuente: Héctor Pérez Marchelli (†)

<https://www.facebook.com/profile.php?id=100081356146430>

antes de su desaparición definitiva para dar paso a la urbanización "Nueva Caracas", el trabajo de Röhl permitió analizar el proceso de colmatación y drenaje que transformó el paisaje del oeste caraqueño. (véase: Fundación Arquitectura y Ciudad; <https://fundaayc.com/tag/plan-monumental-de-caracas/>) con el papel referencial de éste (véase: <https://guiaccs.com/planos/la-ciudad-del-caballo/>).

En conclusión, la relación entre los levantamientos cartográficos de Röhl durante el año 1934 y la Laguna de

Catia representaron un momento crítico en la transición de Caracas hacia la modernidad. La laguna ya no era el cuerpo de agua de los primeros siglos, sino un espacio en disputa entre la *naturaleza* y el *crecimiento urbano*, produciendo una ciudad en expansión, pues luego de su intervención antrópica las autoridades locales ubican allí sectores como la Plaza Sucre y las cercanías de la Avenida España.

La "Catia lagunar" aparece en un proceso avanzado de intervención, como hemos intentado explicar. Lo que originalmente era una depresión natural - una cuenca endorreica - que recogía aguas de escorrentía de la cordillera, estaba siendo drenada para dar paso a la urbe y a las infraestructuras industriales de la época.

Cartografía del MOP

El plano topográfico del (MOP) de 1940, marca el hito final de la laguna de Catia, al documentar la decisión técnica y médica de su desaparición definitiva. mientras que el plano de Eduardo Röhl en 1934 todavía la registraba como un cuerpo de agua significativo, la cartografía del MOP de 1940 detalla su colmatación para dar paso al desarrollo urbano del oeste de caracas.

En 1940, el Banco Obrero (BO), decide drenar y colmatar este cuerpo de agua, destinando a la superficie recuperada a la ampliación de la *avenida La Laguna* (véase la Fig. 6) y a la creación de nuevas áreas edificables con las dimensiones anteriormente señaladas. Las mismas son mostradas como a continuación sigue (Tabla 1).

Año de Registro m ²	Dimensiones de la Cubeta (m ²)	Fuente
1916	487.500	Cartografía histórica de principios de siglo
1934	35.100	Röhl (<i>Plano de Caracas y sus alrededores</i>)
1940	1.500	Planos de colmatación MOP/ BO

Es necesario señalar que existen versiones de esta hoja cartográfica del MOP que han sido intervenidas por instituciones para resaltar la ubicación exacta de la laguna antes de su desaparición total (véase igualmente la Fig. 6).

CONCLUSIONES

La desaparición de la Laguna de Catia ilustra el drástico tránsito de la Caracas rural y natural hacia la metrópoli de concreto. Al eliminarse esta cuenca endorreica natural - que funcionaba como un vaso de regulación para las escorrentías e importantes afluentes de la quebrada Caroata-, el sector perdió su amortiguación hidráulica original. Esta alteración geomorfológica explica, en gran medida, la vulnerabilidad a inundaciones que aún presenta la zona oeste de la ciudad durante las temporadas de lluvias intensas. El proceso de desecación y colmatación de la laguna, acelerado entre 1916 y 1940, respondió directamente a las políticas de saneamiento ambiental y control palúdico de los gobiernos de Gómez y López Contreras. La percepción médica de la época, que catalogaba a las aguas quietas como focos de "miasmas" y amenazas para la salud pública, priorizó la creación de una "ciudad higiénica seca" sobre la conservación de los ecosistemas lacustres, transformando un espacio de esparcimiento popular en suelo netamente urbano. El análisis comparativo de los levantamientos de Eduardo Röhl (1934) y el Ministerio de Obras Públicas (1940) revela un colapso inducido de la laguna a pasos agigantados. En menos de un cuarto de siglo, el cuerpo de agua se redujo

de unos imponentes 487.500 m² en 1916 a un remanente marginal de apenas 1.500 m² en 1940, documentando técnicamente la victoria de la retícula vial y el desarrollo inmobiliario (como la urbanización "Nueva Caracas", la actual Plaza Sucre y el Hospital Periférico) sobre la geografía natural. Más allá de las mediciones técnicas y cartográficas, la Laguna de Catia pervive en la microhistoria caraqueña y en la toponimia urbana (tal como la antigua *avenida La Laguna*). E que recuerda para algunos los elementos de la cultura popular de principios del siglo XX, tales como los paseos en bote y el icónico bar "La Pulmonía", testimonios invaluable de una Caracas que interactuaba con sus paisajes hídricos. Este análisis histórico ha pretendido reconstruir una memoria que permita a las generaciones del siglo XXI, comprender el subsuelo que habitan y la fisonomía oculta de su propia ciudad.

BIBLIOGRAFÍA MÍNIMA

CRONO ARQUITECTURA VENEZUELA. 2022. Se drena y colmata la Laguna de Catia. Fundación Arquitectura Y Ciudad. <https://fundaayc.com/2022/08/08/1940/>
 NAVAS CRESPO, R. (s/f) Caracas inolvidable <https://www.facebook.com/groups/586879391415561/posts/3627618707341599/>
 PÉREZ MARCHELI, H. (s/f) Eduardo Röhl. <https://www.facebook.com/profile.php?id=100081356146430>
 SANCHEZ, H. 2011. *La Laguna*, Tema Viajes. <https://lalagunadecatia-harrinson.blogspot.com/>

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

rodriguez.arteaga@gmail.com



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

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

BÉISBOL, EXPLORACIÓN PETROLERA Y PROBABILIDAD DE ÉXITO

“En exploración y en béisbol, la clave no es evitar fallar, sino aumentar las probabilidades de éxito”

Luis R. Porras M.¹ & Jesús S. Porras M.²

(1) Geólogo consultor (luisrporras@gmail.com); (2) Geólogo consultor (porrasjs@yahoo.com)

“Baseball is the only field of endeavor where a man can succeed three times out of ten and be considered a good performer.”

- Ted Williams

INTRODUCCIÓN

Cuando se les ha preguntado a varios deportistas «¿cuán difícil es para un bateador aficionado batear una pelota de béisbol lanzada por un pitcher de Grandes Ligas?» se obtiene una respuesta casi unánime: la probabilidad de que al menos haga contacto es prácticamente nula. Tal vez puedan alcanzar a rozar la pelota con el bate, o en alguna afortunada ocasión, poder hacer un buen contacto, pero en la inmensa mayoría de las veces no tendrá éxito.

Para lograrlo, debe existir una sincronización de varios factores, tanto propios del bateador: preparación técnica, su capacidad visual y mental para identificar el lanzamiento y tomar en fracciones de segundo la decisión de golpear la pelota, la fuerza y calidad de su swing, como otras variables ajenas o externas, como la preparación del lanzador, la velocidad y movimiento del lanzamiento, e incluso factores como el clima y la iluminación.

Lo mismo ocurre en la exploración petrolera, donde para lograr un descubrimiento confluyen varios factores, algunos inherentes a las condiciones geológicas del subsuelo, y otras pertinentes a la preparación técnica de los profesionales encargados de la ubicación de los pozos exploratorios, en la mayoría de los casos actividad realizada por el equipo de geólogos y geofísicos.

La preparación técnica, constancia, disciplina, y el uso intensivo de herramientas tecnológicas cada vez más avanzadas, pueden permitir incrementar el tan anhelado éxito en ambas disciplinas. «La única manera lógica de disponer para la sociedad el petróleo y gas existente en el subsuelo es a través de la aplicación del pensamiento y método científico (Levorsen, 1943)».

Sin embargo, incluso la suerte en ciertas ocasiones, puede ser decisiva para el éxito del explorador:

“...exploration success depends on the right combination of property (acreage), processes, people, and luck.”

- Alexei Milkov, Colorado School of Mines

EL ARTE DE BATEAR

Como hemos comentado, la acción de batear una pelota lanzada por un pitcher de Grandes Ligas es extremadamente difícil para un bateador profesional, y no menos que imposible para el aficionado común.

Se considera un excelente bateador, aquel que logra batear exitosamente la pelota entre 30 y 40% de las veces que toma turno durante un juego. En el argot del béisbol, este porcentaje se conoce como promedio de bateo o average y está dado por la fórmula:

$$\text{Promedio de bateo} = (\text{Hits} / \text{Veces al bate}) * 1000$$

En esta fórmula estamos considerando las veces que un bateador golpea exitosamente la pelota (hits) por cada turno al bate (vecas al bate). En un turno al bate, un bateador puede recibir n lanzamientos para intentar dar un hit, es decir, golpear la bola hacia un lugar del campo donde no puede ser atrapada por los jugadores defensivos o fielders, pudiendo con ello alcanzar una o más bases.

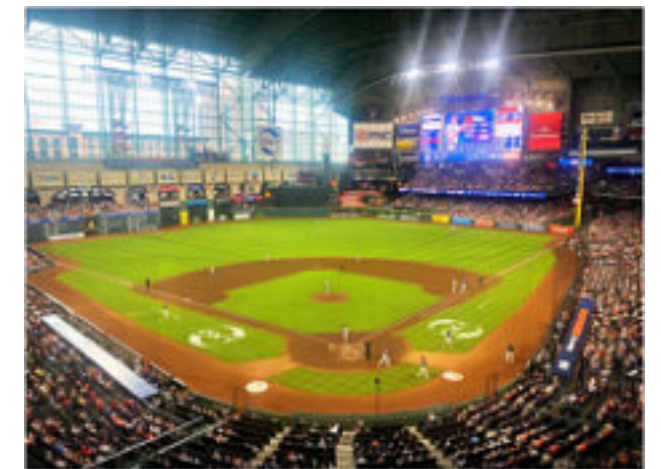


Figura 1. Daikin Park, antes Minute Maid Park, casa de los Astros de Houston (foto cortesía Alejandro Souchon).

Desde la fundación del primer equipo de Grandes Ligas en 1869, se estima que algo menos de 20 mil jugadores han participado en por lo menos un partido (fanarch.com). De estos, solo 138 bateadores han culminado su carrera con un promedio mayor de 300 puntos habiendo tomado

5.000 o más turnos al bate; ningún bateador ha terminado su carrera sobre la mágica cifra de 400 puntos —cuatro hits cada diez turnos al bate (según data recopilada por Elias Sports Bureau, oficina estadística oficial de las Grandes Ligas).

En los últimos 85 años, esta cifra únicamente ha sido alcanzada, aunque en una sola temporada, por Ted Williams, quien en el año 1941 bateó para 406 puntos, producto de haber conectado 185 hits en 456 turnos al bate. Ni siquiera grandes estrellas como Mickey Mantle, Frank Robinson, Carl Yastrzemski o Yogi Berra, han logrado culminar su carrera con un promedio igual o mayor a 300 puntos. En la siguiente tabla se muestra una lista con los 10 primeros bateadores por promedio en la historia de este deporte:

Tabla Nº 1. “Top ten” de jugadores en promedio de bateo durante su carrera

Nombre	AVE
Ty Cobb	367
Rogers Hornsby	358
Ed Delahanty	346
Tristram Speaker	345
Ted Williams	344
Billy Hamilton	344
Dan Brouthers	342
Babe Ruth	342
Harry Heilmann	342
Willie Keeler	341

Fuente: Elias Sports Bureau, MLB.com

El siguiente diagrama ilustra la dificultad para obtener promedios cada vez más altos. De los 138 promedios superiores a 300 puntos, casi 60 de estos pertenecen al rango entre 300 y 308, y apenas dos son mayores a 350.

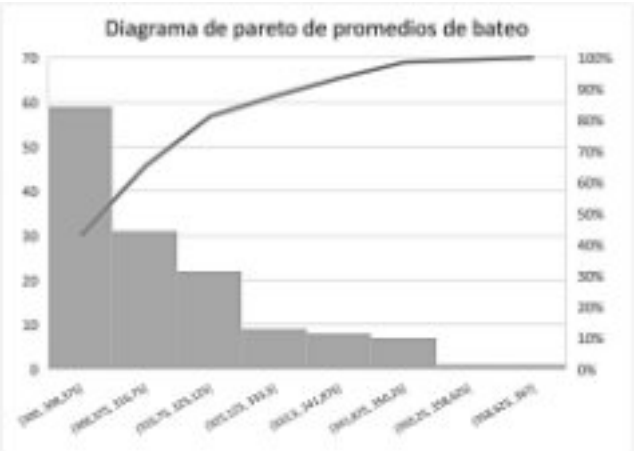


Figura 2. Diagrama de Pareto mostrando la distribución de los promedios de bateo superiores a los 300 puntos.

Igualmente sucede con la exploración petrolera: de los miles de pozos exploratorios que han sido perforados en la historia de la exploración, solo un porcentaje cercano al 40 % ha resultado en un descubrimiento.

LA EXPLORACIÓN: ARTE Y CIENCIA

“Sometimes, we find oil in an old place with a new idea, but we seldom find much oil in an old place with an old idea.”

- Parke A. Dickey

La exploración petrolera no depende únicamente de tecnología avanzada o grandes inversiones. También requiere imaginación, experiencia y la capacidad de observar el subsuelo desde nuevas perspectivas. Por esta razón, suele decirse que la exploración es tanto una ciencia como un arte.

La ciencia aporta las herramientas fundamentales, como la sísmica 3D y 4D, los registros de pozo, los modelos geológicos y el análisis de datos, que permiten conocer cada vez mejor lo que ocurre en profundidad. Sin embargo, aun con toda esa información, el subsuelo sigue siendo parcialmente desconocido. Allí entra en juego el “arte” de la exploración: la intuición geológica, la creatividad y la capacidad de formular nuevas ideas.

A lo largo de la historia de la industria, muchos de los descubrimientos más importantes surgieron precisamente de reinterpretaciones innovadoras y de la ruptura de paradigmas previamente aceptados. En numerosos casos, acumulaciones consideradas inexistentes o económicamente inviables fueron posteriormente descubiertas gracias a nuevas ideas geológicas combinadas con avances tecnológicos. Por ello, la exploración sigue siendo tanto una ciencia basada en datos objetivos y modelos físicos, como un arte sustentado en la experiencia, la creatividad y la visión integradora del explorador.

En sistemas y plays complejos esta integración entre conocimiento geológico, nuevas tecnologías y pensamiento innovador resulta especialmente crítica, ya que pequeños cambios en la interpretación estructural o en el modelo conceptual pueden conducir a descubrimientos de gran magnitud.

RIESGO E INCERTIDUMBRE

Riesgo: la posibilidad de que un resultado esperado no ocurra. En el ámbito de la exploración petrolera se pueden identificar o definir varios riesgos:

- riesgo geológico
- riesgo mecánico u operacional
- riesgo económico
- riesgo político

En este artículo nos referimos al riesgo geológico, es decir, el riesgo de que un prospecto tenga o no hidrocarburos.

¿Cómo estimar el riesgo?

Según Grant et al. (1996), el riesgo de un prospecto se puede dividir en dos tipos: el riesgo del play y el riesgo del prospecto per se. El riesgo del play es inherente a las características geológicas regionales, es decir aquellos elementos que puedan ser cartografiados sin detallar la estructura o trampa del prospecto. El play se puede definir como el conjunto de condiciones geológicas que pueden permitir la acumulación favorable de hidrocarburos o como «una familia de prospectos que comparten una historia geológica común (Rose and Associates, 2007)».

La correcta interpretación de los procesos sedimentarios que dan origen a la formación de las rocas reservorio y sellos, conjuntamente con la comprensión de la evolución estructural de un área, son la base fundamental para el entendimiento de un play exploratorio (Allen & Allen, 2005).

Por su parte, el riesgo del prospecto refleja los elementos de riesgo locales del prospecto en particular.

Sostienen Grant et al. (2006) que para determinar correctamente los riesgos dentro de un área prospectiva (play fairway) cada play puede ser dividido en varios elementos o segmentos de riesgo, los cuales incluyen:

- la presencia y efectividad del reservorio
- la presencia de una roca generadora y un sistema de carga efectivo
- la presencia de un sello vertical efectivo

Los autores continúan explicando que cada elemento se divide en áreas de riesgo común (common risk segments) dividiendo cada elemento en áreas de bajo, moderado o alto riesgo, representando cada una con un código universal de colores (verde, amarillo y rojo respectivamente). De esta manera se obtienen los Mapas de Segmento de Riesgo Común (Common Risk Segment o CRS maps), utilizados ampliamente por los exploradores (Grant et al., 1996; Lynch & Brew, 2020).

Incertidumbre: Se puede definir como el desconocimiento que tiene el geólogo o el explorador sobre la existencia o no de uno o más de los parámetros del sistema petrolero: trampa, sello, reservorio, carga y sincronización. O en el caso del béisbol, el desconocimiento del bateador sobre el tipo o la velocidad del lanzamiento, por lo cual lo más probable es que falle en su intento de golpear la bola.

En general, «cada elemento de entrada utilizado en la estimación de volumen y valor en la exploración es incierto (Rose and Associates, 2007)».

El explorador se basa en el uso de técnicas geológicas para mejorar su conocimiento del subsuelo. Entre estas se pueden mencionar la estratigrafía secuencial para predecir reservorios sobre todo en márgenes pasivos, las aplicaciones de modelado de cuencas para estimar la cantidad de hidrocarburos generados y disponibles para entrapamiento e identificar las cocinas generadoras y vías de migración, el uso de aplicaciones y gráficas estadísticas como variogramas, curvas de probabilidad acumulada, diagramas de Pareto, y Creaming Curves (Figura 3), las cuales consisten en gráficos de volúmenes acumulativos de hidrocarburos descubiertos vs número de pozos perforados en el tiempo (Meismer and Demirmen, 1981) que se utilizan para predecir el éxito exploratorio en provincias petroleras.

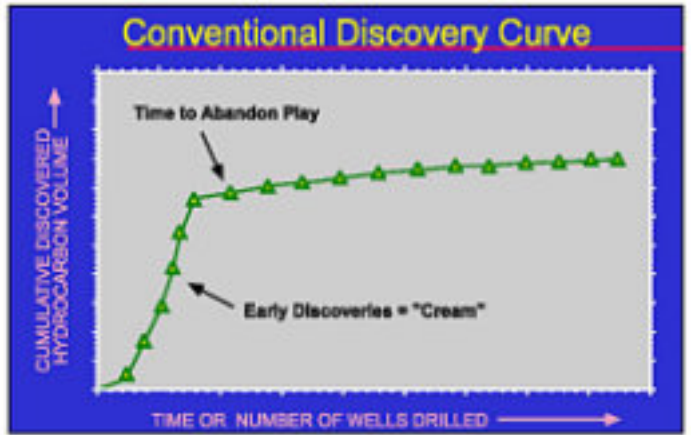


Figura 3. Ejemplo de un Creaming Curve convencional (Snedden, et al., 2003).

Deckelman, et al. (2012) por su parte desarrollaron una metodología para la estimación de la efectividad y el riesgo de existencia del sello vertical en la cuenca Pelotas, en el área costa afuera de Brasil, utilizando datos petrofísicos de los registros de pozo (espesor de la columna lutítica, arcillosidad–Vclay, porosidad), cálculos de presión de poro y presión capilar, y reconstrucciones estructurales

(backstripping) para estimar la presión de sobre carga a través del tiempo geológico.

Sin embargo, aún con toda la experiencia, práctica, entrenamiento y uso de las herramientas tecnológicas, es muy difícil predecir el resultado de un pozo exploratorio, de la misma manera que es prácticamente imposible predecir si un bateador logrará conectar un hit: así como ningún turno al bate es similar a otro, ningún pozo exploratorio es idéntico a otro. En palabras de la Directora de Actius Veritas Geoscience LLC, Katya Casey, «...None of my projects during of my 30-year long career were the same and required a lot of creative thinking... ».

PROBABILIDAD DE ÉXITO

Existen muchos métodos para estimar la Probabilidad de Éxito (Probability of Success - POS) de un prospecto exploratorio, dato utilizado por los exploradores para decidir si perforar o no tal prospecto (Peel & Brooks, 2016).

Es muy común expresar el POS como el resultado de la multiplicación de las probabilidades de ocurrencia de los parámetros del sistema petrolero, a través de la siguiente fórmula:

$$POS = P_{trap} \times P_{seal} \times P_{res} \times P_{charge}$$

Donde:

P_{trap} : es la probabilidad de existencia de la trampa, expresada en valores decimales, ej: 0,9 (90% de probabilidad de existencia).

P_{seal} : es la probabilidad de existencia del sello, expresada en valores decimales, ej: 0,8 (80% de probabilidad de existencia).

P_{res} : es la probabilidad de existencia del reservorio, expresada en valores decimales, ej: 0,6 (60% de probabilidad de existencia).

P_{charge} : es la probabilidad de existencia de carga de hidrocarburos desde una roca generadora, expresada en valores decimales, ej: 0,7 (70% de probabilidad de existencia).

Para el caso anterior, podemos concluir que la Posibilidad de Éxito, POS, es igual a:

$$POS = 0,9 \times 0,8 \times 0,6 \times 0,7 = 0,3024$$

$$POS = 30 \%$$

En este caso estaríamos en presencia de un prospecto exploratorio de mediano riesgo geológico.

Algunos exploradores expertos en la estimación del POS recomiendan añadir un quinto elemento, denominado sincronización o timing (Singh et al., 2016), el cual toma en cuenta la probabilidad de que los cuatro elementos del sistema petrolero hayan ocurrido en la secuencia correcta para lograr la acumulación del hidrocarburo generado. Esta quinta variable se expresa como P_{timing}:

$$POS = P_{trap} \times P_{seal} \times P_{res} \times P_{charge} \times P_{timing}$$

Para el ejemplo anterior, si P_{timing} se estima en 0,6 (60 % de probabilidad de que hubo sincronización entre los elementos del sistema petrolero), el POS pasaría de 30 a 18 %, lo cual lo convertiría en un prospecto de alto riesgo. Como regla general, podemos catalogar el riesgo en alto, medio y bajo, utilizando los siguientes rangos:

- POS= < 20 %: alto riesgo
- POS= 20-50 %: mediano riesgo
- POS= > 50 %: bajo riesgo

De acuerdo a Rose (2001) el riesgo exploratorio no puede ser completamente eliminado, pero sí puede ser reducido sustancialmente, a escala de un portafolio de prospectos. Por su parte Gonçalves & Bedregal (2003) sostienen que «La existencia de una acumulación de petróleo depende fundamentalmente de la existencia de trampa y de carga de hidrocarburos».

El conocimiento ganado con la experiencia y el entrenamiento, el uso de análogos, la revisión del prospecto por equipos de expertos (Peer Reviews) y el análisis estadístico, son herramientas ampliamente utilizadas en la industria para estimar el riesgo de cada uno de los elementos del sistema petrolero.

EL USO DE LA TECNOLOGÍA

Mejoras tecnológicas en la adquisición, procesamiento y visualización 3D de datos del subsuelo, en particular de datos sísmicos, han permitido al explorador tener una visión más acertada de las posibles trampas existentes en su área de estudio (figuras 4 y 5).



Figura 4. Luis Porras en el barco de adquisición sísmica 3D Scan Resolution, durante el programa Golfo de Venezuela Oriental, sector Península de Paraguaná, Edo. Falcón, Venezuela.

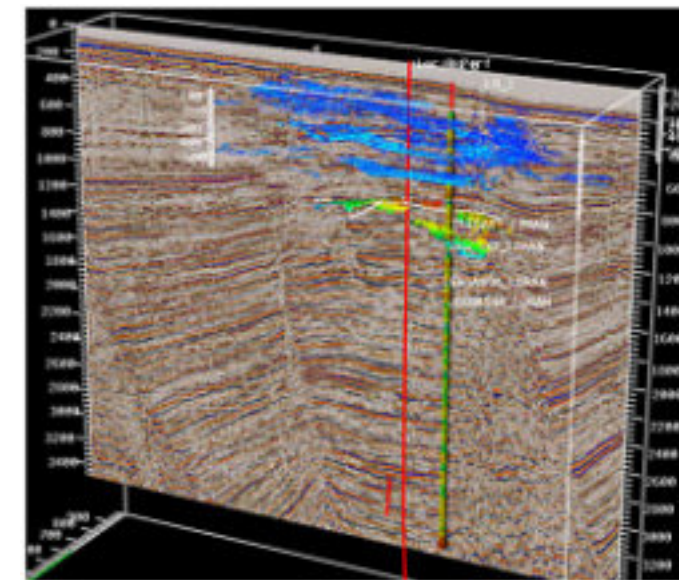


Figura 5. Visualización 3D en el área de Plataforma Deltana, Venezuela Oriental mostrando anomalías sísmica asociadas a presencia de gas en los estratos superficiales (Centeno et al., 2002).

Avances en técnicas de caracterización sísmica como el análisis de AVO (Amplitud vs. Offset) han probado ser exitosos en la predicción del tipo de reservorio e incluso de los fluidos presentes en la roca (figura 6).

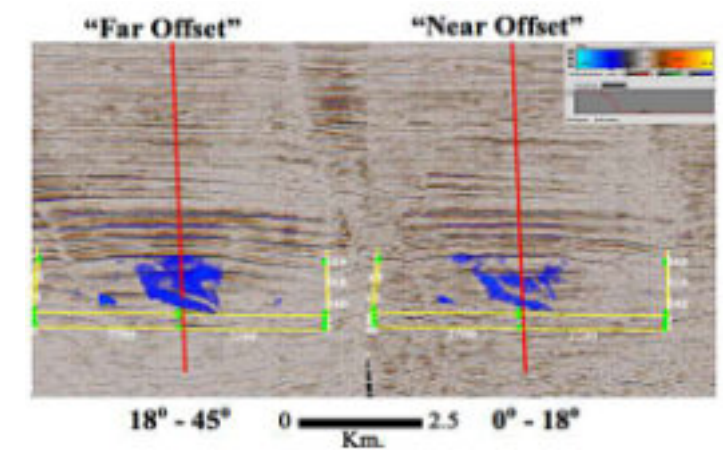


Figura 6. Visualización 3D de los atributos sísmicos "Near and Far Offset" para uno de los yacimientos, usando la curva de opacidad mostrada en la esquina superior derecha. La diferencia de amplitud entre los dos volúmenes está asociada con el efecto AVO producido por la presencia de gas (Medina, et al., 2002).

En algunos casos el éxito ha sido apuntalado por una combinación de un mejor entendimiento del sistema petrolero y el desarrollo de nuevas tecnologías operacionales, tal como lo ha sido la exploración de yacimientos profundos en el Norte de Monagas en Venezuela (Gutiérrez & Salazar, 1989) y la exploración, costa afuera.

La exploración costa afuera ha visto un incremento sustancial en el descubrimiento de campos gigantes, en aguas cada vez más profundas. Zhang, et al. (2019) dividen la exploración costa afuera en tres períodos: etapa inicial (1975-1984), durante la cual se perforaron unos diez pozos en aguas profundas; etapa temprana (1985-1995), durante la cual se perforaron un promedio de 60 pozos al año, con descubrimientos importantes en el golfo de México, Brasil y el Mar de Barents, y una etapa de desarrollo acelerado entre 1996 y 2019, durante la cual se perforaron entre 220 y 260 pozos por año, y se avanzó en la exploración en aguas ultra profundas, mayores a 1500 m.

Nuevas tecnologías de perforación costa afuera y de completamiento de pozos, procesamiento de la imagen sísmica, caracterización de reservorios y la conceptualización de nuevos plays, como por ejemplo el play Pre-sal en Brasil (figura 7), han permitido incrementar el éxito exploratorio y descubrir campos de mayor tamaño en aguas cada vez más profundas (Pinheiro Chagas et al., 2024).

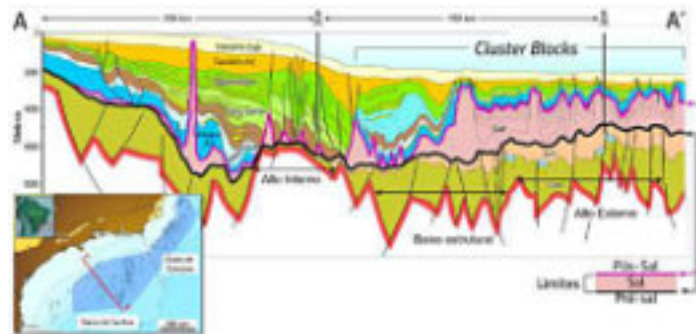


Figura 7. Sección geológica regional de la Cuenca de Santos destacando sus tres secciones principales: pre-sal, sal y post-sal (tomado de Pinheiro Chagas et al. (2024)).

El desarrollo de los gigantes campos pre-sal offshore en Brasil ha impulsado importantes avances tecnológicos en exploración, perforación y producción en ambientes de aguas profundas y ultraprofundas. Estos progresos abarcan desde la caracterización integral de reservorios, mediante modelos estáticos y dinámicos, sísmica de alta resolución 2D y 4D, y estudios especializados en carbonatos, turbiditas, coquinas, microbialitas y calcarenitas, hasta innovaciones en ingeniería de producción, métodos de recobro, manejo de agua y optimización del espaciamiento entre pozos (Bruhn et al., 2017).

Asimismo, el desarrollo de complejos diseños de perforación y completaciones inteligentes, incluyendo geometrías avanzadas y técnicas de Managed Pressure Drilling (MPD), así como avanzada tecnología de fluidos de perforación, cementación y revestidores, cabezales y herramientas HPHT, ha permitido perforar de manera segura y eficiente debajo de espesos cuerpos salinos (Bruhn et al. 2017).

Adicionalmente, la implementación de sofisticados sistemas submarinos, unidades flotantes de producción y de procesamiento y tratamiento de gas y CO₂, embarcaciones especializadas y plataformas offshore ha sido fundamental para viabilizar la explotación comercial de estos reservorios de alta complejidad geológica y operacional. (Beltrão et al., 2009; Bastos Fernandes et al., 2020).



Figura 8. Evolución histórica de los avances tecnológicos en la industria petrolera y su relación con la expansión de las fronteras exploratorias, desde operaciones terrestres (onshore) hasta ambientes offshore y de aguas profundas (deepwater). La imagen muestra cómo innovaciones sucesivas, incluyendo perforación rotatoria, sísmica, plataformas semisumergibles, perforación horizontal, sistemas submarinos y completaciones avanzadas, permitieron incrementar progresivamente la capacidad de exploración y producción en escenarios geológicos y operacionales cada vez más complejos. (tomado de Leffler et al., 2011).

La sísmica 3D también ha representado un gran avance tecnológico para la exploración. Antes del advenimiento de la sísmica 3D, el éxito exploratorio a nivel mundial se situaba alrededor de 20 a 25 %. A partir del uso masivo de la sísmica 3D, tanto en tierra como es costa afuera, el éxito exploratorio ha aumentado has niveles hoy en día de 40 a 50%, incluso mayor en algunas de las cuencas más prolíferas (Lawrence et al., 1995; Aylor, 1998).

Diversos estudios históricos muestran que la incorporación masiva de la sísmica 3D produjo un aumento significativo en las tasas de éxito exploratorio a nivel mundial. Antes de su adopción generalizada, las probabilidades de éxito de los pozos exploratorios (wildcats) se ubicaban típicamente entre 10–25 %, dependiendo de la cuenca y del grado de madurez exploratoria. Con la expansión de la sísmica 3D durante las décadas de 1980 y 1990, muchas provincias petroleras registraron incrementos hasta valores cercanos a 40–50 %, e incluso superiores en ciertos plays offshore y áreas de desarrollo (Aylor, 1998).

En el Golfo de México, por ejemplo, las estadísticas publicadas por Offshore Magazine muestran que la tasa de éxito de pozos exploratorios aumentó desde aproximadamente 19 % en 1985 hasta más de 40 % en

1994, coincidiendo con la expansión del uso de sísmica 3D. Asimismo, algunos operadores reportaron tasas cercanas a 50 % en prospectos evaluados con esta tecnología (Lawrence et al., 1995).

En el caso del campo Leona, un campo maduro de la Cuenca Oriental de Venezuela descubierto en 1941, la incorporación de sísmica 3D adquirida en 1995 permitió redefinir significativamente el modelo estructural del área. La nueva interpretación sísmica identificó pliegues de arrastre inverso (reverse drag folds) desarrollados en el bloque hundido (hanging wall) de la falla La Leona, una zona que tradicionalmente no había sido considerada prioritaria para la exploración (figura 9).

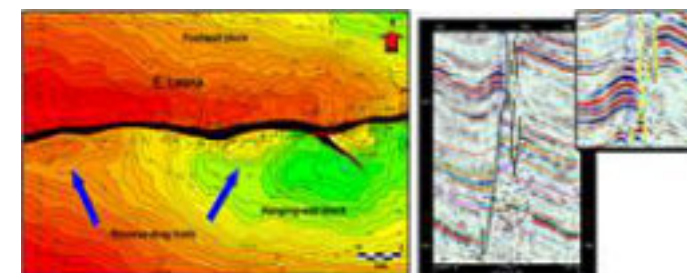


Figura 9. Pliegues de arrastre inverso en el lado deprimido de la falla de La Leona, identificados con el uso de sísmica 3D. Campo Leona, Cuenca Oriental de Venezuela (Porras, J.S. et al., 2001).

Este nuevo concepto geológico rompió el esquema clásico de perforar únicamente los bloques altos asociados a fallas normales y abrió nuevas oportunidades exploratorias en sectores previamente subestimados. Como resultado, a partir de 2001 se perforaron 15 nuevos pozos, incrementándose sustancialmente las reservas y la producción del campo (Porras J.S. et al., 2001).

El béisbol no es ajeno a estos avances tecnológicos. El uso intensivo de videos antes y durante el juego para estudiar al lanzador e incluso para que el propio bateador pueda observarse asimismo y hacer ajustes a su mecánica de bateo, el análisis estadístico de los lanzamientos preferidos de un lanzador particular, entre otras herramientas, representan avances que permiten al bateador ser más exitoso, o por lo menos intentarlo.

En los últimos años se ha implementado el uso de la Sabermetría, que consiste en análisis estadísticos avanzados con los cuales se puede «hacer un análisis de causa-raíz, es decir, podemos dar respuesta a por qué los resultados de un jugador son mejores o peores..... De esta forma, lo que hacemos es medir el rendimiento, no sólo los resultados» (Larrinaga, 2021).

En el ámbito exploratorio, al igual que en el béisbol con la Sabermetría, la realización de análisis post mortem son indispensables para entender por qué un pozo exploratorio salió seco. Esos análisis nos sirven para comprender qué fue lo que falló: si fue el modelo geológico, o si aun teniendo el modelo geológico correcto, falló uno de los elementos del sistema petrolero. Esta información se utiliza posteriormente para ajustar los modelos geológicos y poder predecir con mayor certidumbre el resultado de los próximos pozos, reduciendo así la probabilidad de perforar otro pozo seco.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los avances en almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de datos, la capacidad de cómputo y los desarrollos en aprendizaje automático han causado un auge en el uso de la Inteligencia Artificial como herramienta para analizar grandes volúmenes de información y automatizar procesos y tareas, simplificando o acelerando la toma de decisiones.

En el béisbol, a partir de 2022, hemos visto el desarrollo y uso del Automated Ball-Strike (ABS) Challenge System, el cual es un desarrollo tecnológico que permite monitorear la posición exacta de un lanzamiento en tiempo real (Castrovince, 2026).

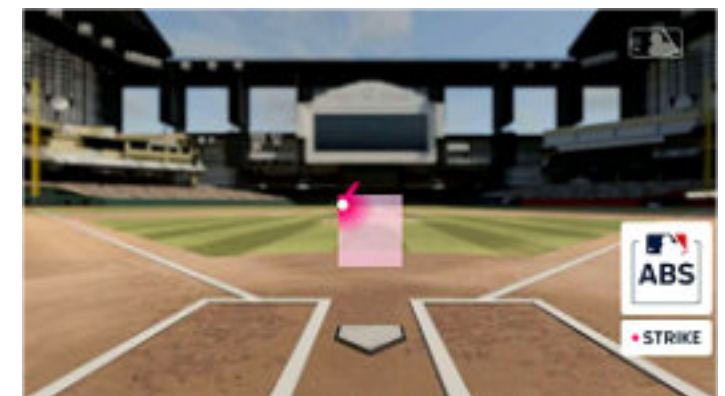


Figura 10. Imagen del funcionamiento del ABS (Warren, 2025).

En la exploración, se ha incrementado el uso de sistemas de inteligencia artificial para la predicción de acumulaciones de hidrocarburos. Desde los sistemas de correlación automática de registros de pozo y los geosoftwares de interpretación sísmica capaces de detectar fallas y horizontes y generar mapas de manera automática, hasta sistemas automatizados que permiten identificar formaciones geológicas complejas como trampas estratigráficas, y el uso de sistemas de machine learning

que permiten predecir o estimar la probabilidad de existencia de una acumulación de hidrocarburos, mediante la integración de datos geológicos, geofísicos, de producción u otro tipo (Petróleo y Energía, 2025).

El uso de técnicas de Inteligencia Artificial como cluster analysis, lógica difusa y redes neuronales entre otras, está ampliamente arraigado en la industria petrolera. En su charla Inteligencia Artificial en Petrofísica, Evolución y Aplicaciones, Porras, J.C. (2026) presenta un resumen del uso de la Inteligencia Artificial en varios estudios de caracterización de yacimientos en distintos tipos de roca. Ejemplos de estas aplicaciones se presentan en las figuras 11 y 12.

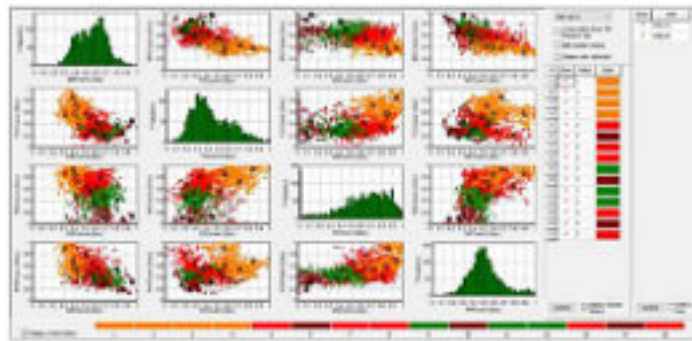


Figura 11. Cluster análisis a partir del agrupamiento manual para cuatro familias correspondientes a los tipos de roca, formación Vaca Muerta, pozo A y pozo B (Panesso et al., 2023).

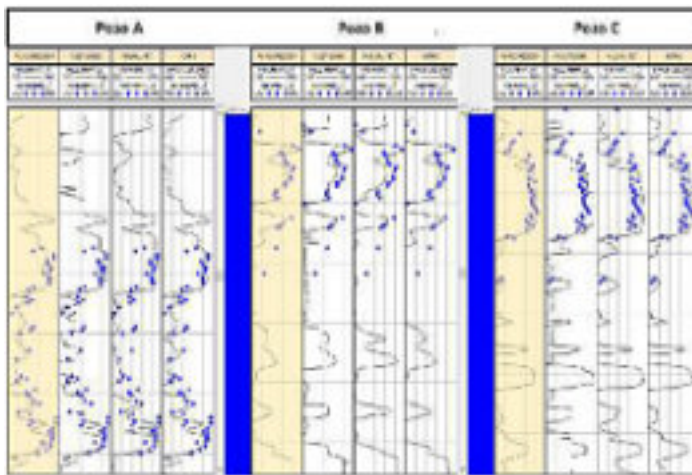


Figura 12. Calibración de permeabilidad estimada con la permeabilidad de coronas, utilizando Regresiones Lineales Múltiples, Lógica difusa, Redes Neuronales y la relación K/PHIE (Astesiano et al., 2014).

CONCLUSIONES

El béisbol, en particular el bateo, y la exploración petrolera tienen un denominador común: ambas actividades son extremadamente difíciles, y la probabilidad de ser exitoso en ellas es relativamente baja. Las dos disciplinas requieren de estudios y aprendizaje continuo, análisis y comprensión de los resultados, paciencia y perseverancia para obtener el premio mayor: en el béisbol, logra batear un jonrón con las bases llenas (Grand Slam) el cual representa para el equipo una anotación de cuatro carreras, y para el público, una de las jugadas más emocionantes que pueda presenciar.

En la industria de los hidrocarburos, muchos exploradores dedican su vida en la búsqueda del gigante: aquella acumulación comercial de hidrocarburos mayor a 1.000 millones de barriles equivalentes, que pudiera cambiar su trayectoria profesional, e incluso influir en el desarrollo de la industria y de la región o país donde ocurrió tal descubrimiento.

Tal es el caso del descubrimiento del campo El Furrial, realizado por Lagoven, S.A., filial de PDVSA, en el año 1985 (Gutiérrez & Salazar, 1989), el cual no solo cambió la carrera a muchos de los profesionales que participaron en ese descubrimiento, sino que también abrió las puertas para el desarrollo de toda la franja petrolífera del Norte de Monagas y Anzoátegui en Venezuela, generado múltiples beneficios para estos estados y la nación en general.

“Nuevos conceptos, nuevos modelos, nuevas ideas, y la consideración de otras alternativas, a menudo resultan en un cambio de paradigma a pesar de anteriores resultados negativos...”

- Casey, K.

REFERENCIAS

- Allen, P.A. & Allen, John R. (2005). Basin Analysis: principles and applications. Cap. 10: The Petroleum Play (pp. 405-493), Blackwell Publishing Company.
- Astesiano, D., Porras, J.C., Panesso, R. y Quaglia, A. (2014). Caracterización Petrofísica Integrada y Cálculo de Sw a partir de la Función J del reservorio Rayoso Clástico, campo Desfiladero Rayo Este, cuenca Neuquina. Simposio de Evaluación de Formaciones, IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mendoza, Argentina.
- Aylor, W. K. Jr. (1998). Role of 3-D seismic in exploration turnaround. Offshore Magazine, 58(3). <https://www.offshore->

mag.com/geosciences/article/16756507/role-of-3-d-seismic-in-exploration-turnaround?utm_source=chatgpt.com

- Beltrão R.L.C., Sombra, C.L., Lage, A.C.V.M., Fagundes Netto, J.R. & Henriques, C.C.D. (2009). Challenges and New Technologies for the Development of the Pres-Salt Cluster, Santos Basin, Brazil. OTC 1980
- Bastos Fernandes, F., Guimarães Rezende, F.H., Ramires dos Santos, E., Santos de Oliveira, A. S., dos Santos Siqueira, C. Y. & Moss Sampai L. (2020). Drilling developments in Pre-Salt of Brazil: background and new horizons, Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2020 (20) DOI: <https://doi.org/10.48072/2525-7579>. rog.2020.151.
- Bruhn, C.H.L., Pinto, A.C.C., Johann, P.R.S., Branco, C.C.M., Salomão, M.C. & Freire, E.B. (2017). Campos and Santos basins: 40 Years of Reservoir Characterization and Management of Shallow- to Ultra-Deep Water, Post- and Pre-Salt Reservoirs –Historical Overview and Future Challenges. Offshore Technology Conference Brazil, Río de Janeiro.
- Casey, K. (Ekaterina), (2020). The absence of evidence does not necessarily mean the evidence for absence. Exploration beyond first-order basin statistics, U3 Explore, Live virtual round table discussion & write.
- Castrovince, A. (2026). Everything you need to know about the new ABS Challenge System. <https://www.mlb.com/news/abs-challenge-system-mlb-2026>
- Centeno, M., Porras, L., Medina, A., León, P., Romero, T., Colombine, W., Ramos, D., García, B., Guevara, I., Perdomo, J.L., Dávila, B. & González, J. (2002). Uso de las herramientas de visualización e interpretación sísmica en el diseño de pozos de perforación Costa Afuera: caso Plataforma Deltana. XI Congreso Venezolano de Geofísica, SOVG, Caracas.
- Deckelman, J.A., Lou, S. D'Onfro, P.S. & Lahann, R.W. 2003. Quantitative Assessment of Regional Siliciclastic Top-Seal Potential: a new application of proven technology in frontier and maturing South American basins. Memorias VIII Simposio Bolivariano – Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Cartagena de Indias, Colombia, vol. 2, pp. 194-207.
- Gonçalves, F.T.T. & Bedregal, R.P. 2003. Evaluación del Riesgo de Carga de Hidrocarburos a través de la Integración de Nuevas Tecnologías de Modelamiento de Cuencas y Métodos Tradicionales de Exploración. Memorias VIII Simposio Bolivariano – Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Cartagena de Indias, Colombia, vol. 1, pp. 266-269.

Grant, S., Milton N. & Thompson M. 1996. Play fairway analysis and risk mapping: an example using the Middle Jurassic Brent Group in the northern North Sea. Abstract. Norwegian Petroleum Society Special Publications, vol. 6, pp. 167-181.

<https://fanarch.com/blogs/mlb/how-many-mlb-players-are-there-ever>

https://es.wikipedia.org/wiki/Ted_Williams

https://www.magnific.com/es/vector-premium/campo-beisbol_42427088.htm

<https://www.mlb.com/stats/batting-average/all-time-totals>

Gutiérrez, R. & Salazar, M. (1989). Características Geológicas del Campo El Furrial, en Memorias 50º Aniversario de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Revista GEOS N°29, Caracas.

Larrinaga, N. de, (2021). ¿(R)evolución en el bateo? <https://www.beisbolmlb.com/revolucion-en-el-bateo-mlb-espanol-beisbol/>

Lawrence, M. A., Logue, H. T. & Grimm, D. A. (1995). Exploration 3D seismic boosting wildcat success, reducing well count. Offshore Magazine, 55(4) https://www.offshore-mag.com/geosciences/article/16762483/exploration-3d-seismic-boosting-wildcat-success-reducing-well-count?utm_source=chatgpt.com.

Leffler, W.L., Pattarozzi R. and Sterling G. (2011). Deepwater Petroleum Exploration & Production: a Nontechnical Guide, 2nd edition, Penwell Corporation.

Levorsen, A.I. 1943. Discovery Thinking, AAPG Bulletin, Vol 27, No.7.

Lynch, B. & Brew, G. (2020). Common Risk Segment (CRS) mapping for communicating subsurface uncertainty and risk. SEG International Exposition and 90th Annual Meeting. Society of Exploration Geophysicists.

Medina, A., Porras, L., Salas, D. & Wheaton, D. (2002). Visualización 3D de atributos sísmicos “near and far offset”: Una herramienta útil para la detección y delineación de los posibles yacimientos gasíferos en la Plataforma Deltana. XI Congreso Venezolano de Geofísica, SOVG, Caracas.

Meisner, J. & Demirmem, F. (1981). The Creaming Method: A Bayesian Procedure to Forecast Future Oil and Gas Discoveries in Mature Exploration Provinces. Abstract, Royal Statistical Society. Journal. Series A: General, Volume 144, Issue 1, January 1981, Pages 1–22, <https://doi.org/10.2307/2982158>.

Panesso, R., Quaglia, A., Alzate, G. & Porras, J.C. (2023). Integrated Petrophysical Characterization of

Hydrocarbon Shale Unconventional Reservoirs Using a Rock Typing Approach, Case Study, Vaca Muerta Play, Neuquen Basin, Argentina . Unconventional Resources Technology Conference (URTeC), Denver, Colorado. Petróleo y Energía, P&E (2025). Digitalización en la exploración petrolera: El rol transformador de la inteligencia artificial. Revista Digital P&E Petróleo& Energía, Ciudad de México.

Pinheiro Chagas, A.A., Araújo, C.C. de & Santos, L.A. (2024). As grandes descobertas do Pré-sal no Atlântico Sul. Ed. Petrobras, Río de Janeiro, Cap. 1, pp. 21-69

Porras, J.C. (2026). Inteligencia Artificial en Petrofísica, Evolución y Aplicaciones. SPWLA Latam 2026 Distinguished Speaker. Resumen de la presentación oral en línea a la AAPG Young Professional Venezuela Chapter.

Porras, J.S., Selva, C. & Díaz, M. (2001). Reverse-drag folds: New Structural Traps in a Mature Oil Field, Leona Field. Case Study, AAPG Hedberg Conference, Mendoza, Argentina.

Peel, F.J. & Brooks, J.R.V. (2016). A practical guide to the use of success versus failure statistics in the estimation of prospect risk. E&P Note. AAPG Bulletin, vol. 100, No. 2, pp. 137-150.

Rose, P. (2001). Risk Analysis and Management of Petroleum Exploration Ventures. Abstract, AAPG Methods in Exploration. American Association of Petroleum Geologists, vol. 12.

Rose, P. & Associates (2007). Quantification of Geological Risk of Unbiased Prospect and Play Characterization course notes. Vol 2.

Singh, V., Izaguirre, E. Yemez, I. & Stigliano, H. (2016). Establishing Minimum Economic Field Size and Analysing its Role in Exploration Project Risks Assessments: Three examples. Search and Discovery Article # 41827. Adapted from extended abstract an Oral Presentation. AAPG GEO 2016. The 12th Middle East Geosciences Conference and Exhibition, Manama, Bahrain.

Snedden, J.W. Sarg, J.F. & Ying, X. (2002). Exploration Play Analysis from a Sequence Stratigraphic Perspective. Search and Discovery Article # 40079.

Warren, W. (2025). The good and bad of the MLB's ABS Challenge System: Breaking down the pros and cons of the looming possibility of the new rule. The Mustang online magazine.
<https://www.sdamustang.com/uncategorized/2025/03/24/the-good-and-bad-of-the-mlbs-abs-challenge-system/>

SOBRE LOS AUTORES:



Sur América, Australia y África.

Luis R. PORRAS M. es Ingeniero Geólogo graduado en 1983 de la Universidad de Oklahoma en Norman, Oklahoma, con Maestría en Geociencias del Petróleo del Imperial College de la Universidad de Londres, Inglaterra. Posee más de 40 años de experiencia profesional en proyectos de exploración de petróleo y gas en varios países de Norte, Centro y

Comenzó su carrera en 1985 como geólogo de operaciones en la Cuenca Oriental de Venezuela, pasando a geólogo regional e intérprete de información geofísica para PDVSA en Caracas, donde participó en la evaluación y generación de prospectos en distintas cuencas en Venezuela, tanto en tierra como costa afuera. En el 2001 se encargó de la Gerencia de Geología y Geofísica del Proyecto Plataforma Deltana en la costa atlántica venezolana.

En 2003 continuó su carrera en la industria privada como geólogo de exploración y nuevos negocios en varias empresas en Venezuela y Colombia. Actualmente se desempeña como consultor especializado en temas de exploración de petróleo y gas y en evaluación de nuevas oportunidades de negocio para la adquisición y desinversión de activos.



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

Posee más de 40 años de experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado diversos cargos en proyectos tanto de

exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales. Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Sr. liderando grupos de estudios integrados de yacimientos para operadoras nacionales e internacionales.

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

Es miembro activo de diversas asociaciones profesionales y autor o coautor de más de 50 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.

GLOSARIO BÁSICO DE TÉRMINOS DE BÉISBOL

Nota: Muchos términos del béisbol no tienen una traducción directa del inglés al español. En este caso, es aceptable el uso de la palabra original.

- Base (base): almohadilla de forma rectangular que ocupa cada vértice del cuadro interior
- Bate (bat): palo más grueso por el extremo libre que por la empuñadura con el que se golpea la pelota (RAE)
- Bateador (batter o hitter): jugador que toma un turno al bate para tratar de dar un hit. Durante el turno se ubica al lado del plato o home
- Béisbol (baseball): deporte que consiste en anotar más carreras que el contrario, normalmente en un período de nueve entradas
- Campo de béisbol (baseball field): campo de juego, normalmente en forma de rombo o diamante



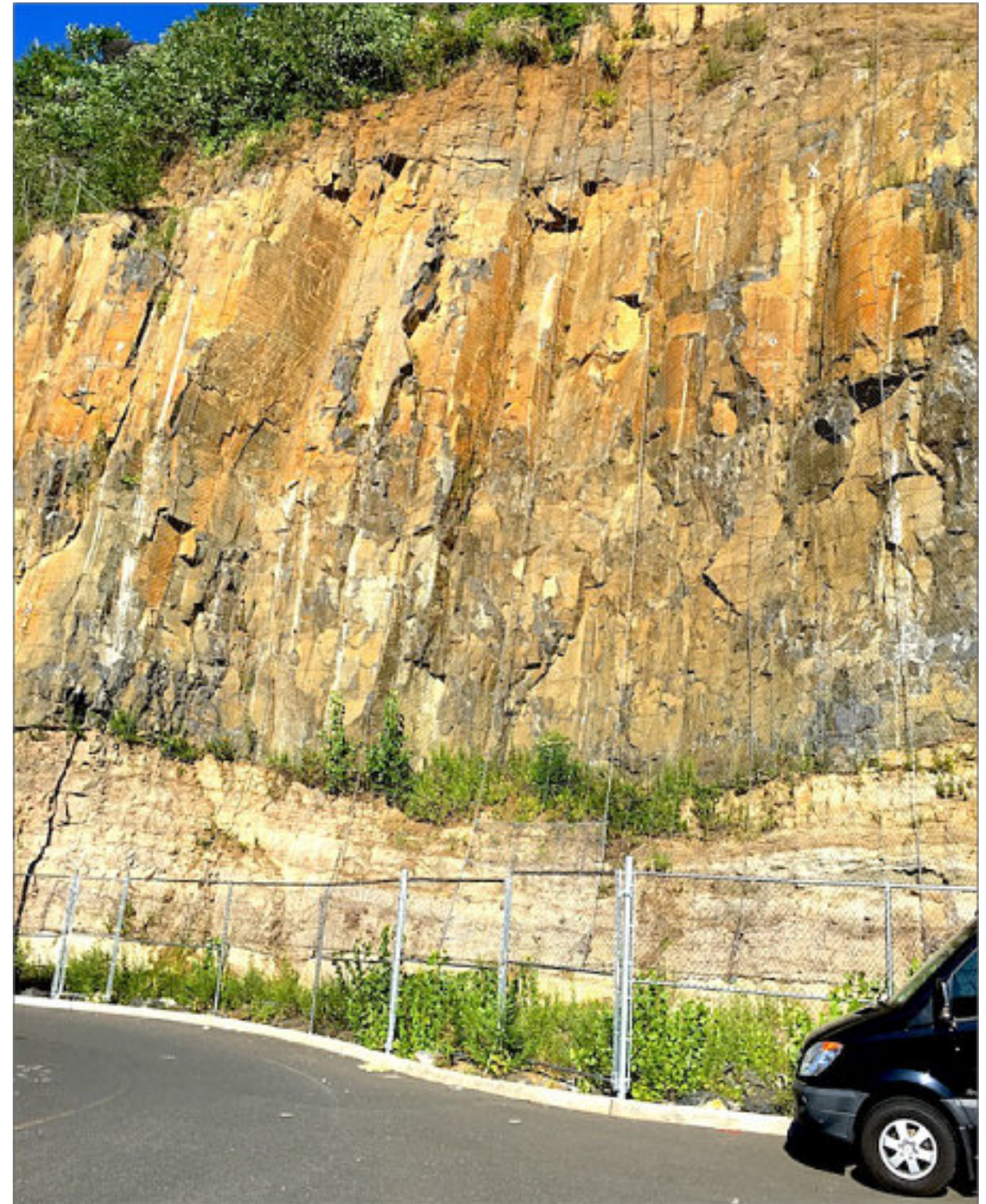
- Carrera (run): anotación de un jugador ofensivo
- Doble (double): hit que le permite al bateador alcanzar la segunda base
- Entrada (inning): períodos en los cuales se divide el tiempo de juego. Pueden ser más mientras el partido se mantenga empatado en carreras
- Fildeador o defensor (fielder): jugador defensivo: sin contar al lanzador, hay ocho defensores: cuatro en el cuadro interior, tres en el cuadro exterior y uno detrás del home
- Grandes Ligas (Major League Baseball @MLB): torneo que se desarrolla en los Estados Unidos de América

donde participan los mejores representantes de este deporte

- Hit (hit): golpear la bola exitosamente sin que ningún defensor pueda atraparla, pudiendo el bateador alcanzar una o mas bases
- Jonrón (Home run): hit que le permite al bateador alcanzar las cuatro bases y anotar una carrera en una sola jugada
- Jonrón con las bases llenas (grand slam): es un jonrón cuando hay corredores en todas las bases, Permite anotar cuatro carreras en una jugada
- Cuadro interno (infield): parte interior del campo donde se ubican las bases y los jugadores que la defienden
- Jardín externo (outfield): parte exterior del campo. Por esta razón a los jugadores defensores de esta zona se les denomina jardineros
- Lanzador (pitcher): jugador defensivo encargado de lanzar la bola al bateador
- Línea de foul (foul line): líneas rectas blancas que delimitan los lados del campo
- Montículo (mound): lugar elevado desde donde lanza el pitcher
- Out (out): cuando un bateador falla en su intento de dar un hit y alcanzar una base. Se permiten tres outs por cada entrada
- Pared ó barda (fence): pared que delimita el campo
- Plato (home plate): base donde se ubica el bateador. También se refiere a la base que debe alcanzar el jugador ofensivo para anotar una carrera
- Sencillo (single): hit que le permite al bateador alcanzar la primera base
- Swing (swing): acción que hace el bateador para golpear la bola con el bate
- Triple (triple): hit que le permite al bateador alcanzar la tercera base



This is a world-class example of an angular unconformity located at Praia do Telheiro in the Algarve, Portugal! The image clearly shows a dramatic clash between two different geological eras. The lower, vertical layers are deformed shales and greywackes from the Brejeira Formation (Carboniferous), which were folded during the ancient Variscan Orogeny. Sitting directly on top—separated by a sharp erosional line—are the horizontal red sandstones of the Grés de Silves (Triassic). This sharp contrast represents a "missing" time gap of over 50 million years, where mountains were built, eroded flat, and then buried by a new desert landscape. Photo by **Nwafor Isaac** - LinkedIn.



This view, looking northwest near Edgewater, New Jersey, shows the Palisades Sill resting on top of the Stockton Formation. Both are part of the Triassic-Jurassic Newark Basin, which stretches approximately 150-200 km northeast, roughly paralleling the Hudson River. The sill consists of a 300-meter-thick layer of diabase that forms the area's iconic steep cliffs. Its characteristic vertical columns, and occasional hexagonal columnar jointing, formed as the magma cooled and contracted. Regional tectonism has since tilted the entire structure at a 10-15-degree angle to the northwest. In contrast to the dark diabase, the underlying Stockton Formation features light gray to light brown sandstone layered with shale. Photo by **Howard R. Feldman**.



El cráter Kerid, ubicado al sur de Islandia, es un cráter volcánico relativamente joven, de unos 3.000 años de antigüedad. Presenta una forma ovalada, aproximadamente 55 metros de profundidad, 170 metros de ancho y 270 metros de largo. Destaca por el contraste visual entre el intenso color azul del lago en su interior y los tonos rojizos y anaranjados de sus paredes. A diferencia de otros cráteres volcánicos, Kerid no se formó por una erupción explosiva, sino por el colapso del terreno tras la salida de magma. Posteriormente, el cráter se llenó de agua, cuyo nivel está controlado por el nivel freático **(Foto J. Porras)**.



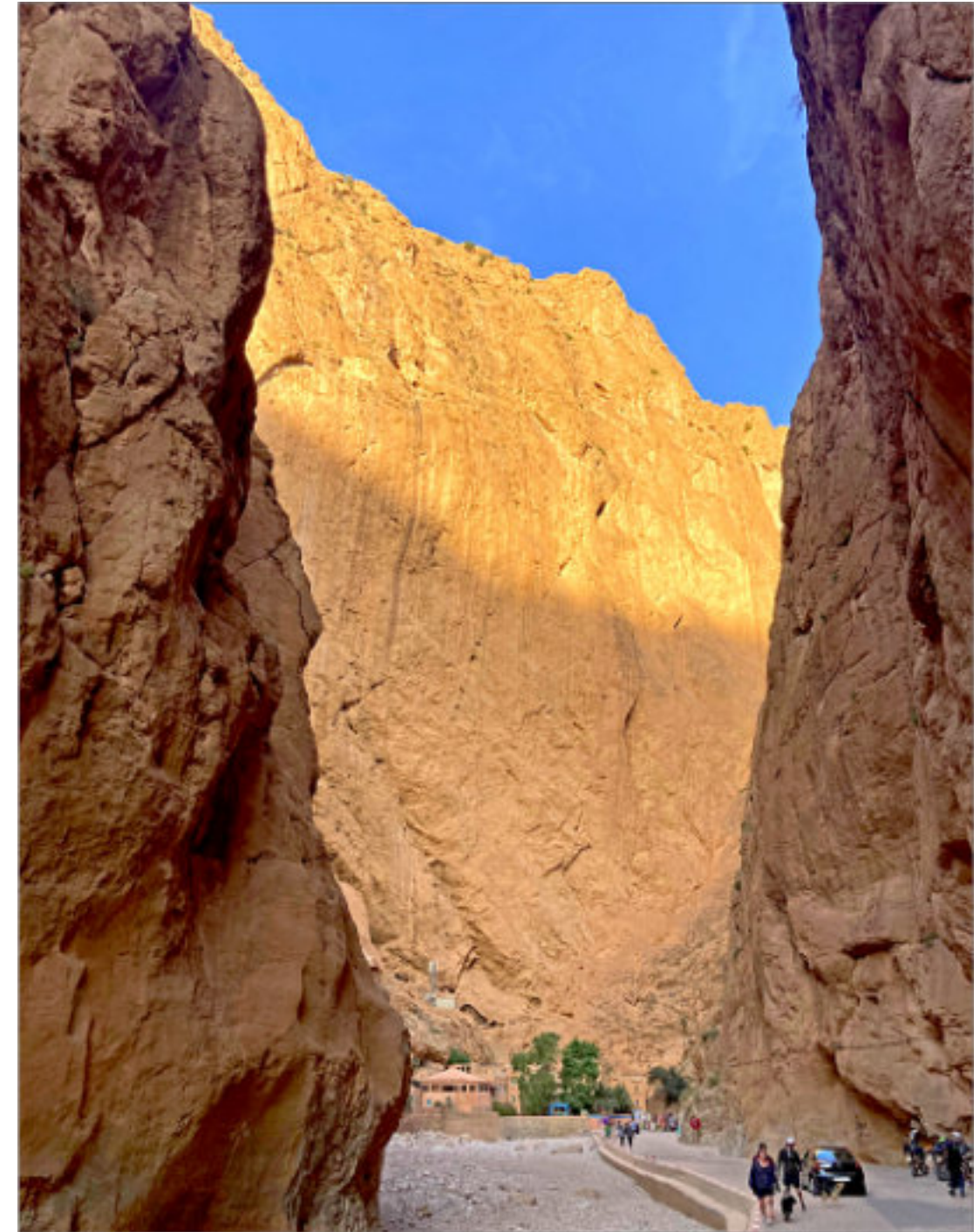
Rocas volcano-clásticas de la Formación Cayo afectadas por meteorización esferoidal (onion-skin weathering). Este proceso, asociado a cambios térmicos, descompresión y meteorización química, genera fracturas paralelas a la superficie y la descamación de la roca, modificando su forma y favoreciendo su desintegración. Las rocas se caracterizan por su forma redondeada y por presentar capas concéntricas que se desprenden progresivamente desde la superficie hacia el interior. (Puerto Santa Ana, Guayaquil, Ecuador) **(Foto J. Porras)**.



Slickensided exposure of the Shawangunk Formation found on the Shawangunk Ridge in the mid-Hudson Valley near New Paltz, New York. The Middle Silurian Shawangunk, consisting of gray conglomerate, sandstone and shale, lies unconformably above the shales and graywackes of the Ordovician Martinsburg Formation. Slickensides are smooth, polished, and often striated rock surfaces formed by friction as rock blocks slide past each other along a fault plane. These features indicate the direction of fault movement, with striations parallel to the slip vector. In this photo the top block moved from lower left to upper right, plucking clasts of conglomerate as it moved resulting in 'steps' that are clearly visible. Photo by **Howard R. Feldman**.



Balanced Rock is one of the iconic rock formations in Garden of the Gods in Colorado Springs (Colorado). This rock is a huge mass of arkosic sandstone (Fountain Formation, Permian). It rises 10.6 meters above its pedestal base, and it weighs approximately 635 tons. Photo by **Jhonny E. Casas**.



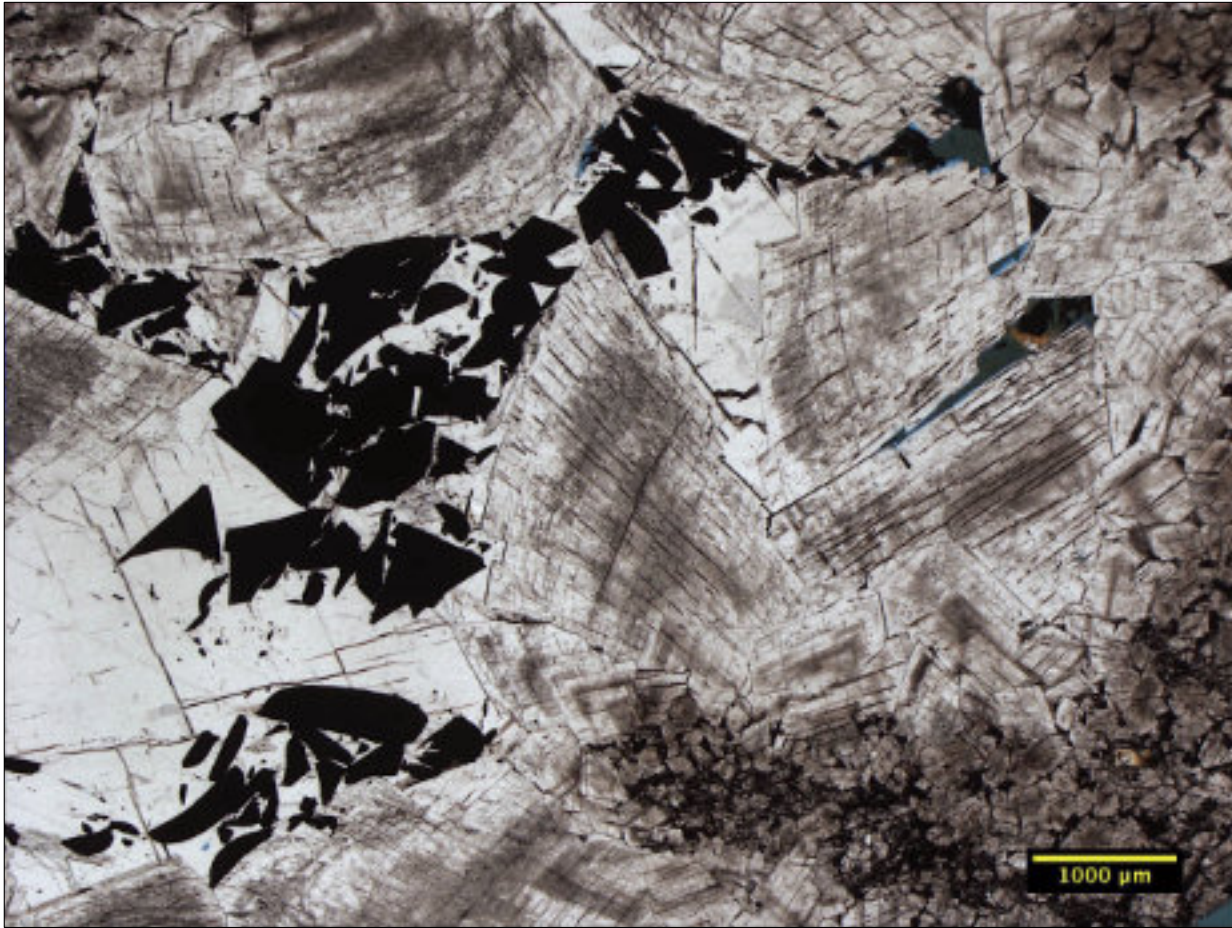
Spectacular Toudgha (also spelled 'Todra') Gorge, on the south flank of the High Atlas, Morocco, contains steep, massive Lower-Middle Jurassic limestone walls that tower over a perennial stream in an otherwise barren landscape. Structurally, Toudgha Gorge is part of an inverted Jurassic rift where the marine sedimentary layers were folded and uplifted during the Alpine orogeny. Photo by **Gary Prost**.

The canyon walls reach heights of 400 meters. The gorge becomes a slot canyon for the last 600 meters: the valley narrows, in places only 10 meters wide. Abundant caves attest to a wetter climate in the past.

The gorge is among Africa's top rock-climbing spots offering beginner to expert routes. In 2013, NASA tested the Juno Mars Rover prototype here due the similarities with Martian terrain. Toudgha's Mars-like terrain has also been featured in "Gladiator" (2000), "Game of Thrones," and "Prince of Persia" (2010).

The Rocky Mountains, Colorado, USA. Photo by Gilda Yolid Muñoz.





Porosidad vuggy en una dolomía precámbrica de la Cuenca de Taoudeni (Mauritania). Grandes cristales euhedrales de dolomita en silla de montar (saddle dolomite). El resto de la porosidad es obliterada por fragmentos quasi vítreos de pirobitumen (fragmentos opacos) y una última generación de calcita blocky. El pirobitumen se formó por reducción termoquímica de sulfato (TSR) a partir de hidrocarburos líquidos. Fotomicrografías de **Jordi Tritlla Cambra**.



Antiguos cristales euhedrales de anhidrita, actualmente pseudomorfizados en calcita. El sulfato se ha reducido durante la pseudomorfosis, dando lugar a cristales idiomórficos de pirita (minerales opacos), todo ello flotando en una matriz dolomítica. Se interpreta que esos cristales de anhidrita fueron el producto de la interacción de una surgencia hidrotermal, en relación con mounds bacterianos quemosintéticos, y precipitación directa a partir del sulfato presente en el agua marina. Silúrico de Marruecos.



Benioff Siempre

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

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

Comunícate con

Luis Ángel Valencia Flores
luis.valencia.11@outlook.com

quien está a cargo de organizar esta información.

NOTAS GEOCIENTÍFICAS

La perspectiva de un consultor de exploración petrolera sobre la inteligencia artificial en geología del petróleo: entre el miedo, la fascinación y el valor real del geólogo especialista

Ramón López Jiménez
Colaborador de la Revista

Introducción

En geología, y especialmente en geología aplicada a la exploración de hidrocarburos, la IA produce una mezcla bastante comprensible de fascinación, desconfianza y miedo. Fascinación, porque promete hacer en minutos tareas que antes podían requerir días, semanas o incluso meses. Desconfianza, porque muchos geólogos sabemos que interpretar el subsuelo no consiste simplemente en reconocer patrones en una imagen o ajustar automáticamente una curva. Y miedo, porque nadie quiere descubrir demasiado tarde que una parte importante de su trabajo puede ser automatizada por una herramienta que aprende más rápido, procesa más datos y no se cansa.

La cuestión importante no es si la IA sustituirá o no al geólogo en bloque. La cuestión realmente interesante es otra: qué partes del trabajo geológico se vuelven más automatizables, qué partes ganan valor precisamente porque no lo son, y qué tipo de profesional será más difícil de reemplazar en los próximos años.

El miedo de los geólogos no es irracional

Hay profesionales que opinan que los geólogos son, en general, difíciles de convencer cuando aparece una nueva tecnología. Y no creo que sea una simple resistencia conservadora al cambio. En geología aplicada, especialmente en exploración, equivocarse puede ser muy

caro. Una mala interpretación no es solo una idea equivocada en un informe: puede condicionar una decisión de perforación, una inversión millonaria, la valoración de un prospecto o la estrategia completa de una compañía.

Por eso es normal que muchos geólogos miren la IA con cautela. Se han visto antes tecnologías presentadas como revolucionarias que luego resultaron ser útiles, sí, pero mucho más limitadas de lo que prometían al principio. Además, en geología hay algo que no siempre se entiende desde fuera: el dato geológico rara vez habla solo. Necesita contexto.

Una anomalía sísmica no es automáticamente un cuerpo sedimentario. Una geometría canaliforme no es necesariamente un canal. Una figura de correlación entre pozos puede ser elegante y estar equivocada. Una clasificación automática de facies puede parecer razonable, pero fallar si los datos de entrenamiento no representan bien la variabilidad real del sistema.

Ahí está una de las razones del miedo: la IA puede producir respuestas muy convincentes, incluso cuando no entiende realmente el problema geológico. Y eso, para un profesional acostumbrado a convivir con incertidumbre, sesgos de datos y modelos incompletos, genera una desconfianza lógica.

Pero la fascinación también está justificada

Al mismo tiempo, sería ingenuo negar que la IA ya está aportando beneficios reales. No hablo aquí de promesas vagas sobre el futuro, sino de aplicaciones que ya se están usando en el sector. En exploración de hidrocarburos, la IA ya está ayudando en interpretación sísmica, detección de fallas, clasificación litológica, análisis de imágenes de testigos, predicción de propiedades petrofísicas, identificación de anomalías, integración de datos históricos y optimización de flujos de trabajo. También se

está utilizando para acelerar tareas de perforación, anticipar problemas operativos, comparar activos y buscar analogías entre campos. Esto lo he estado viendo personalmente en mi trabajo como consultor durante el último año especialmente.

El beneficio más evidente es la velocidad. Determinados trabajos de interpretación preliminar que antes podían llevar semanas pueden hacerse ahora en mucho menos tiempo. La IA puede recorrer grandes volúmenes de datos sísmicos, detectar patrones, priorizar zonas de interés y proponer candidatos para revisión humana. Esto no significa que tome la decisión final, pero sí que reduce el espacio de búsqueda. Y eso, en exploración, es muy importante.

Cuando una empresa maneja enormes volúmenes de sísmica, registros de pozo, informes antiguos, modelos petrofísicos, mapas, datos de producción y documentación técnica acumulada durante décadas, el problema no es solo interpretar. El problema es encontrar, ordenar, cruzar y valorar información. En ese terreno, la IA puede ser extraordinariamente útil. Antes, alguien como yo, un experto en sedimentología y estratigrafía, dedicaba varias semanas a organizar los archivos que el cliente le daba (¡terabytes en muchas ocasiones!). Esto ahora ya no ocurre y el tiempo ‘ganado’ lo dedico a lo que mejor sé hacer: correlacionar datos e interpretarlos.

Qué partes del trabajo geológico son más vulnerables

Hay bastante unanimidad respecto a los factores que determinan la vulnerabilidad profesional ante la IA dependerá: el grado de repetición de las tareas, la disponibilidad de datos y la capacidad del geólogo para aportar criterio propio.

Las tareas más repetitivas serán las primeras en ser automatizadas o semiautomatizadas (los geofísicos aquí pueden sentir un miedo más intenso probablemente). Si una actividad consiste en aplicar una regla relativamente estable a muchos datos parecidos, la IA tendrá ventaja. Esto puede incluir clasificación preliminar de facies, picking asistido de horizontes, detección automática de

fallas, extracción de atributos, ordenación documental, comparación de curvas de pozo, generación de resúmenes o identificación de patrones en bases de datos regionales.

Pero la geología de exploración no se reduce a eso. Un modelo deposicional no aparece simplemente porque una herramienta detecte geometrías. Alguien tiene que decidir si esas geometrías son coherentes con un sistema sedimentario concreto. Alguien tiene que preguntarse si la resolución sísmica permite realmente ver lo que se está interpretando. Alguien tiene que valorar si una correlación entre pozos es estratigráficamente defendible. Alguien tiene que distinguir entre una geometría real, un artefacto de adquisición, una ilusión producida por el procesado o una interpretación demasiado forzada.

Y aquí aparece una frontera importante: la IA es más fuerte cuando el problema está bien definido, los datos son abundantes y las categorías están claras. Pero muchas decisiones geológicas importantes se toman justo en el escenario contrario: datos incompletos, escalas mezcladas, incertidumbre, ruido, sesgos de muestreo y varias hipótesis posibles.

Por eso no todos los geólogos están igualmente expuestos. Será más vulnerable el profesional que solo ejecute tareas repetibles sin añadir demasiado criterio interpretativo. En cambio, ganará valor quien combine conocimiento geológico profundo, manejo de datos, capacidad crítica y experiencia en sistemas naturales reales. Aunque, si se cumplen algunas visiones de lo que será la inteligencia artificial en unas pocas décadas, la verdad es que cualquiera ya sería reemplazable...veremos.

El dato: la materia prima que cambia toda la discusión

Hay una frase que se repite mucho en torno a la IA: los modelos dependen de la calidad de los datos. Puede sonar obvio, pero en geología tiene una importancia enorme. La IA necesita datos. Pero no cualquier dato. Necesita datos bien descritos, bien contextualizados, trazables, comparables y suficientemente diversos. En geociencias, esto es especialmente complicado porque los datos no son neutros. Un afloramiento no es solo una imagen. Un

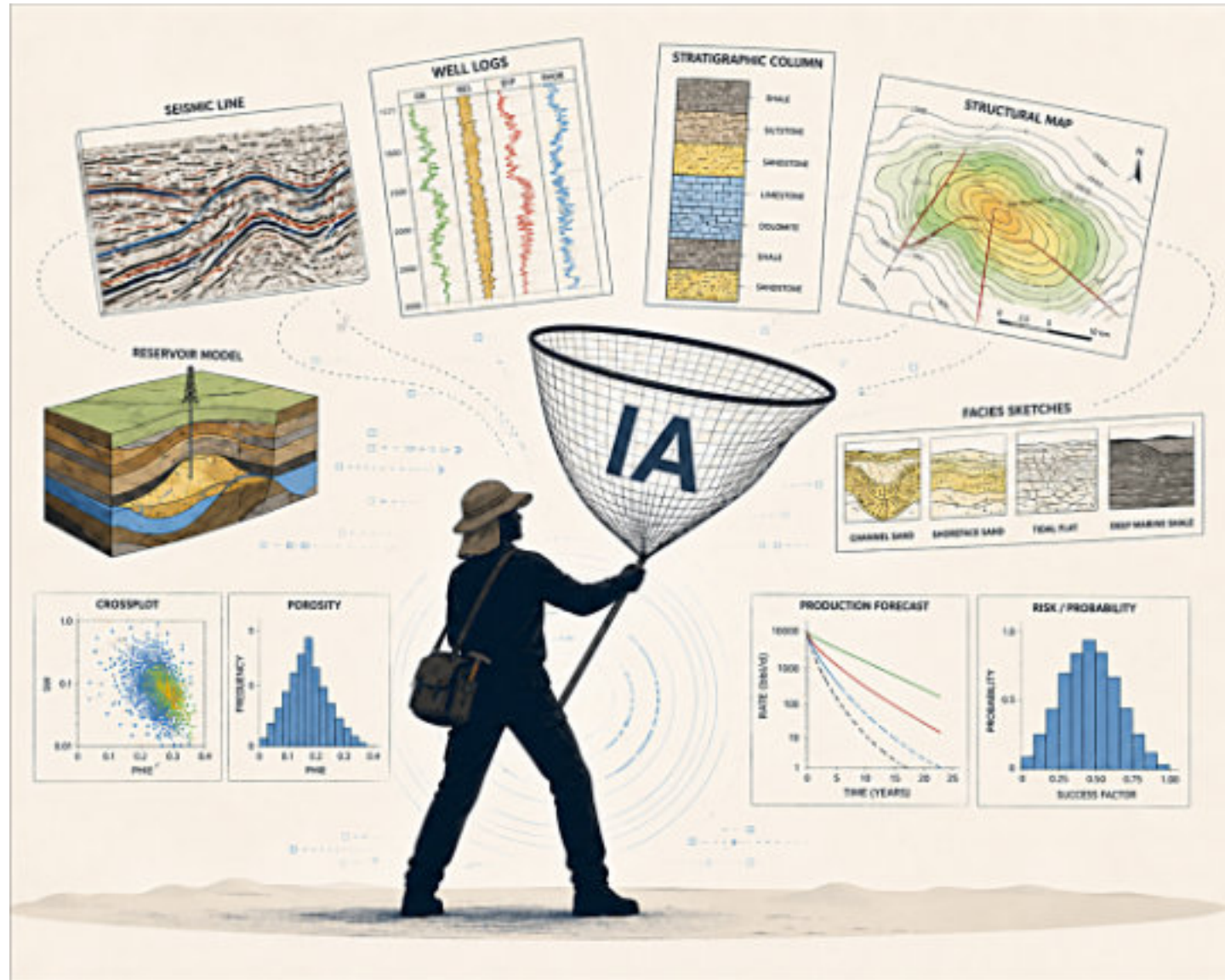


Figura 1: El geólogo frente a la abundancia de datos de exploración: la IA es una herramienta de gran valor como red para capturar, ordenar e interpretar información sísmica, estratigráfica, petrofísica, sedimentológica y de reservorio. Incrementa el valor del especialista.

testigo no es solo una fotografía cilíndrica. Una curva gamma ray no es simplemente una línea. Una superficie erosiva no es solo una discontinuidad visible. Todo depende de la escala, del contexto, de la preservación, de la arquitectura, de la relación con otras unidades y del modelo deposicional en el que se integra.

Aquí creo que hay una cuestión profesional muy importante. En un mundo donde la IA aumenta la capacidad de procesar datos, el valor no está solo en saber

usar la herramienta. También está en saber producir datos que otros no tienen. Y aquí, quiero pensar que me encuentro entre aquellos afortunados que pueden producirlos y...no compartirlos alegremente para así usarlos como valor añadido frente a cualquier IA. Los especialistas en estudios de análogos de campo con muchos años de trabajo en diferentes partes del mundo, hemos generado nuestras propias bases de datos de campo, y eso tiene una ventaja muy particular. Tenemos una cantidad ingente de secciones, arquitecturas

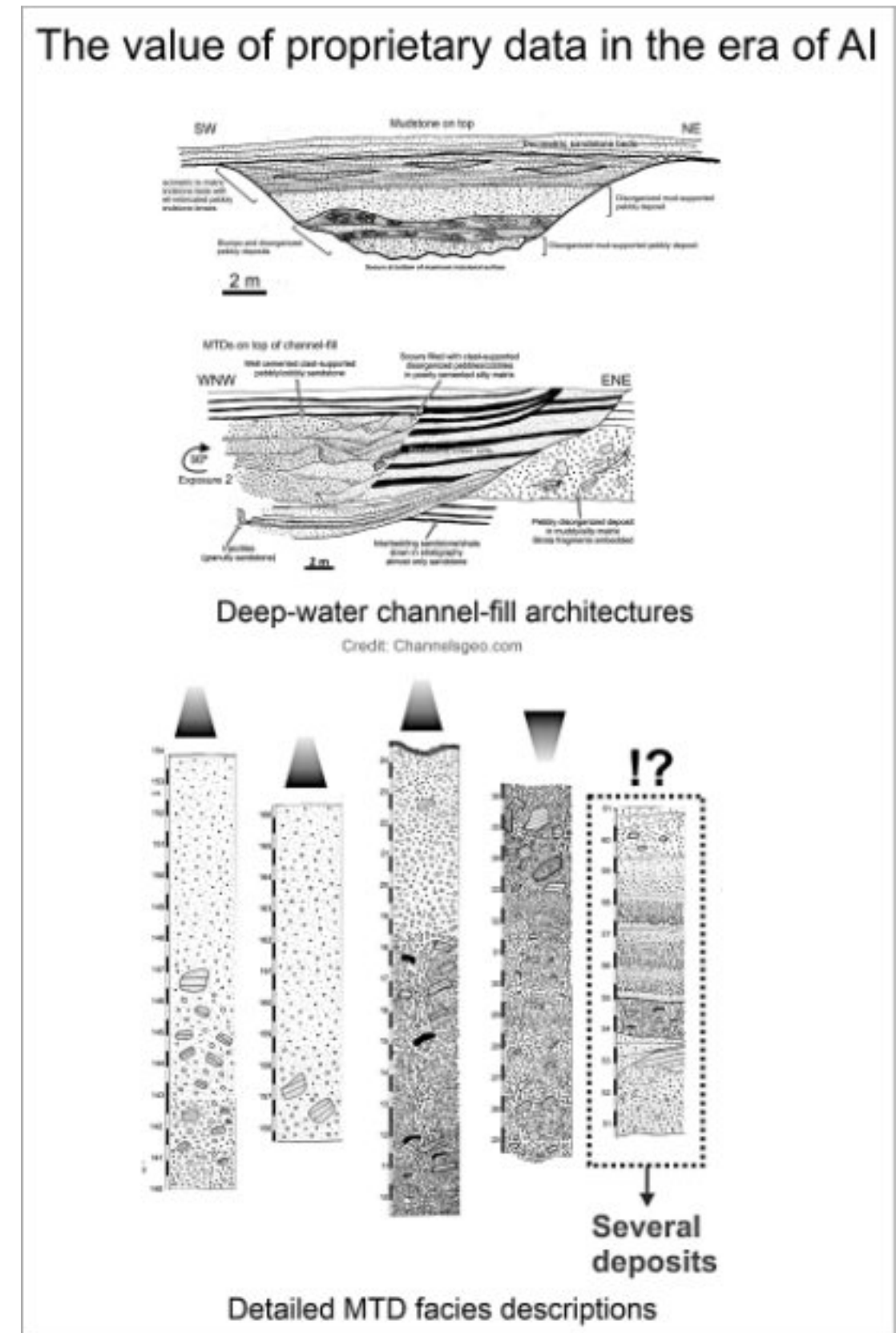


Figura 2: El valor de los datos propietarios en la era de la IA: los sedimentólogos son profesionales que capturan datos en gran detalle como las arquitecturas de canal profundo o las descripciones sedimentológicas detalladas, las cuales usa en sus consultorías y que no pueden ser usadas por ninguna IA al no tenerlas disponibles.

sedimentarias, fotografía afloramientos, entre otros datos, de los que además interpretamos superficies clave, reconocemos jerarquías estratigráficas, comparamos sistemas deposicionales para luego construir los modelos propios que usamos en nuestras consultorías. Por lo tanto, estamos creando una base de conocimiento que no se puede improvisar con una búsqueda rápida en internet.

Y esto es todavía más relevante en sedimentología aplicada a reservorios. Las arquitecturas sedimentarias reales, observadas en campo, tienen una riqueza que muchas veces no aparece en los datasets corporativos. La geometría de un cuerpo arenoso, su conectividad, la distribución de facies, la continuidad lateral, la amalgamación, la compartimentación, la relación entre canales, barras, lóbulos, superficies erosivas o cuerpos heterolíticos no se entiende solo con modelos genéricos. Se entiende observando sistemas reales, midiendo, comparando y pensando en términos de escala.

Por eso, desde mi punto de vista, un geocientista que genera datos propios de campo no está en una posición débil frente a la IA. Puede estar en una posición fuerte. Porque si la IA necesita datos de calidad para producir respuestas útiles, entonces el especialista que produce, selecciona y contextualiza esos datos se vuelve más importante, no menos.

El geólogo como proveedor de criterio, no solo de información

Esto es clave. El geólogo del futuro no será valioso solo porque sepa muchas cosas, sino porque sabrá formular buenas preguntas, construir buenos datasets, detectar incoherencias y validar resultados. Su papel no será simplemente “dar información” a una máquina, sino controlar la relación entre observación, modelo y decisión.

En exploración de hidrocarburos, esto puede marcar diferencias importantes. Una compañía puede tener sísmica 3D, registros de pozo y algunos testigos. Pero si necesita entender heterogeneidad sedimentaria, conectividad de reservorio, arquitectura interna o

distribución de facies, los análogos de campo bien contruidos siguen siendo fundamentales. La IA puede ayudar a explotar esos análogos. Puede ordenarlos, compararlos, etiquetarlos, relacionarlos con datos del subsuelo y generar hipótesis. Pero no puede inventar observaciones de campo que nadie hizo. No puede medir una arquitectura sedimentaria que no fue documentada. No puede recuperar el contexto de una superficie si nadie lo registró correctamente. Por eso me parece que una parte del futuro profesional de la geología pasa por esta combinación: datos propios, criterio experto y herramientas de IA.

Una mirada especulativa a los próximos veinte años

En los próximos cinco años, veremos una integración cada vez mayor de IA en plataformas de interpretación sísmica, petrofísica, modelado geológico, gestión documental y análisis de datos de pozo. No será una herramienta separada del trabajo diario, sino una capa integrada en los programas que ya se utilizan. El geólogo no “irá a la IA”; la IA estará dentro del flujo normal de trabajo.

En un plazo de cinco a diez años, es posible que muchas compañías avancen hacia modelos geológicos más dinámicos, capaces de actualizarse con nuevos datos y de comparar hipótesis con mayor rapidez. También será cada vez más importante la calidad de las bases de datos corporativas. Las empresas que tengan datos bien ordenados, trazables y etiquetados tendrán una ventaja clara sobre las que hayan acumulado décadas de información dispersa, duplicada o mal documentada.

En un horizonte de diez a veinte años, es probable que gran parte de la interpretación preliminar esté automatizada. Los equipos quizá sean más pequeños, más híbridos y más centrados en supervisión, validación, integración y toma de decisiones. Muchas tareas que hoy consideramos normales quizá se vean como demasiado lentas o manuales. Pero no creo que eso signifique la desaparición del geólogo experto. Más bien creo que cambiará el tipo de geólogo que tendrá más valor. El profesional puramente ejecutor tendrá más dificultades.

El profesional capaz de integrar geología, datos, incertidumbre, economía, campo y herramientas digitales será más necesario. Y dentro de ese contexto, el sedimentólogo de campo puede tener un papel especialmente interesante. Porque en un mundo saturado de datos repetidos, heredados o mal contextualizados, los datos originales y bien interpretados pueden convertirse en un activo diferencial.

La posición más razonable, creo, es asumir que la IA ya está cambiando la exploración de hidrocarburos, pero que su impacto dependerá de la calidad de los datos, de la claridad de los problemas planteados y del criterio de los

profesionales que la utilicen. Y aquí el geólogo sigue siendo central, especialmente el geólogo que no solo interpreta datos ajenos, sino que sabe producir los suyos. El que va al campo, mide, observa, fotografía, compara, escala, contextualiza y transforma afloramientos reales en conocimiento aplicable al subsuelo. Si la IA necesita datos de calidad para responder mejor, entonces el futuro no pertenece solo a quien tenga la herramienta más potente. Pertenece también a quien tenga los mejores datos, las mejores preguntas y el criterio suficiente para saber cuándo una respuesta es geológicamente razonable y cuándo simplemente parece inteligente.



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

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

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

Situación geológica y potencial de los recursos petroleros No Convencionales en México

M. en C. Luis Ángel Valencia Flores.
Editor de la Revista

Resumen

La industria de los hidrocarburos en México se encuentra en un proceso de aceleración del conocimiento de su potencial petrolero, impulsado por la necesidad de reponer reservas y asegurar la seguridad energética de la nación. Los yacimientos no convencionales de aceite y gas en lutitas orgánicas (*shale oil/gas*) han cobrado relevancia global, y México cuenta con un potencial prospectivo significativo en sus provincias geológicas del noreste y oriente. Este manuscrito detalla la situación geológica de México, definiendo los criterios para yacimientos exitosos y analizando detalladamente las seis provincias principales: Chihuahua, Sabinas, Burro-Picachos, Burgos, Tampico-Misantla y Veracruz. Con recursos medios estimados en 60.2 MMMbpce, el desarrollo de estos recursos representa un pilar estratégico basado en análogos geológicos de clase mundial como las formaciones Eagle Ford y Haynesville de Estados Unidos.

1. Introducción

De acuerdo con la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética, la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) tiene el mandato de elevar el factor de recuperación y obtener el volumen máximo de petróleo y gas natural a largo plazo. En este contexto, los **recursos no convencionales** se definen como sistemas petroleros en rocas arcillosas orgánicamente ricas y de baja permeabilidad, que actúan simultáneamente como roca generadora, almacenadora, trampa y sello. Debido a estas características, su extracción comercial requiere técnicas avanzadas como el fracturamiento hidráulico múltiple en pozos horizontales para inducir el flujo hacia el pozo.

México posee diversos *plays* de origen marino con espesores considerables y alta riqueza orgánica, que se consideran análogos a las zonas productoras del sur de

Estados Unidos (Texas y Luisiana). A partir de 2010, se implementaron campañas de perforación para reducir la incertidumbre geológica en formaciones clave del Cretácico Superior y Jurásico Superior.

2. Criterios Geológicos para Yacimientos No Convencionales

Para que un yacimiento de lutitas sea considerado prospectivo y exitoso, debe cumplir con parámetros específicos de la roca:

- **Contenido Orgánico Total (COT):** Debe ser superior al 2% con kerógeno tipo II y III.
- **Madurez Térmica (Ro):** Rangos de reflectancia de vitrinita > 0.8% para aceite y > 1.2% para gas.
- **Espesor y Profundidad:** Espesores de 15 a 30 metros y profundidades situadas entre los 900 y 3,000 metros.
- **Litología:** Una composición de más del 50% de cuarzo o carbonatos para facilitar la fracturación mecánica.
- **Porosidad:** Presencia de micro y nanoporosidad, así como gas absorbido en el kerógeno.

3. Geología Regional y Provincias Petroleras

México ha identificado seis provincias geológicas principales con recursos no convencionales, que se consolidan en cinco provincias petroleras para su estudio:

3.1. Provincia de Chihuahua

La Provincia de Chihuahua, situada en el norte de México, representa una frontera exploratoria crítica para los recursos no convencionales de gas y aceite en lutitas. Con una superficie de 116,708 km², esta región se caracteriza por una columna sedimentaria mesozoica que alcanza los 7,000 metros de espesor. El análisis geológico identifica a las formaciones **La Casita** (Jurásico Superior) y **Ojinaga** (Cretácico Superior) como los principales subsistemas generadores. A pesar de presentar una complejidad estructural calificada como baja en sus áreas prospectivas, el intenso tectonismo laramídico ha influido en la madurez termal de las rocas, situándolas predominantemente en la ventana de generación de gas seco y aceite.

Introducción y Ubicación Geográfica

La Provincia Geológica de Chihuahua se localiza en la porción septentrional de México, ocupando la parte norte del estado homónimo. Sus límites geográficos colindan al noroeste con los Estados Unidos, al occidente con la Faja Volcánica de la Sierra Madre Occidental y al sur con la Plataforma de Coahuila. Fisiográficamente, la provincia está constituida por un sistema de sierras y depresiones; las sierras corresponden a fragmentos de anticlinales mesozoicos, mientras que las depresiones contienen rellenos cenozoicos de entre 1,000 y 2,000 metros de espesor.

Marco Estructural y Evolución Tectónica

La provincia presenta un amplio cinturón de pliegues y fallas inversas con orientación NO-SE. Su evolución tectónica se divide en tres periodos principales:

1. **Periodo de Apertura:** Fase distensiva con subsidencia ligada a la apertura del Golfo de México en el Jurásico Medio.
2. **Periodo de Cuenca:** Desarrollo de plataforma con estabilidad tectónica y depósito de grandes espesores sedimentarios.
3. **Periodo de Colmatación:** Régimen compresivo derivado de la **Orogenia Laramide**, que provocó el levantamiento, basculamiento y fallamiento inverso de los sedimentos.

Formación	Edad	Tipo de Hidrocarburo	Kerógeno	COT (%)	Complejidad Geológica
Ojinaga	Cretácico Sup.	Ventana de Aceite	II	0.5 - 2.0	Baja
La Casita	Jurásico Sup.	Ventana de Gas	II - III	0.5 - 2.0	Baja
Woodford	Devónico	Ventana de Gas	II - III	0.5 - 3.0	Baja

□ **Play La Casita:** Se considera la roca generadora más importante por su espesor y distribución regional. Su madurez termal (Ro=1.4-2.7%) la sitúa firmemente en la zona de generación de gas.

Este fuerte tectonismo laramídico y post-orogénico ha tenido un impacto dual: facilitó la sobremaduración de las rocas generadoras pero también provocó la destrucción de trampas convencionales y la dispersión de hidrocarburos hacia la superficie.

Marco Estratigráfico

La secuencia sedimentaria de Chihuahua incluye depósitos desde el Paleozoico hasta el Terciario.

- **Mesozoico Inferior a Medio:** Predominan capas rojas y depósitos evaporíticos (sal y yeso) que afloran al sur de Ciudad Juárez.
- **Jurásico Superior (Titoniano):** Destaca la **Formación La Casita**, compuesta por lutitas y calizas arcillosas con espesores de 80 a 950 metros.
- **Cretácico Inferior:** Representado por las formaciones Navarrete (caliza y yeso), Las Vigas (lutitas y areniscas) y **La Peña** (Aptiano), esta última con espesores de 50 a 100 metros.
- **Cretácico Superior:** El Grupo **Ojinaga** (Turoniano) consiste en lutitas negras carbonosas de ambiente deltaico que alcanzan hasta 1,000 metros de espesor.

Evaluación de Plays No Convencionales

El potencial de la provincia se concentra en tres *plays* principales evaluados por su calidad y madurez orgánica:

□ **Play Ojinaga:** Presenta condiciones adecuadas para la generación de aceite (Ro=0.6-1%), aunque la falta de un sello regional limita la formación de yacimientos convencionales, favoreciendo el concepto de acumulación

no convencional.

Estado de la Exploración e Información Disponible

Actualmente, Chihuahua es la provincia con la menor cantidad de información disponible en comparación con otras cuencas como Burgos. Cuenta con cobertura de líneas sísmicas 2D, estudios magnetométricos y gravimétricos, pero se distingue por ser la **única provincia sin datos sísmicos 3D** hasta la fecha. Los recursos recuperables se encuentran actualmente bajo estudio jerarquizado, con un potencial significativo aún por cuantificar formalmente en las tablas de reservas nacionales.

La Provincia de Chihuahua posee los elementos geológicos necesarios para el desarrollo de recursos no convencionales, destacando por sus potentes espesores de lutitas orgánicas en las formaciones La Casita y Ojinaga. Si bien la complejidad tectónica histórica ha afectado los sistemas convencionales, la baja complejidad estructural de los *plays* de lutitas identificados ofrece una oportunidad estratégica para la exploración de gas y aceite. La adquisición de datos sísmicos 3D será el paso fundamental para reducir la incertidumbre en esta vasta región del norte mexicano.

3.2. Provincia Sabinas-Burro-Picachos

La Provincia Petrolera Sabinas-Burro-Picachos, integrada por la Cuenca de Sabinas y la Plataforma (o Macizo) de Burro-Picachos, constituye una de las regiones más maduras y prometedoras para la explotación de recursos no convencionales en México.

Con una superficie combinada de aproximadamente 94,085 km², esta provincia destaca por la continuidad geológica de sus sistemas petroleros con los *plays* de clase mundial del sur de Estados Unidos, específicamente la formación **Eagle Ford**. El análisis técnico identifica a las formaciones **La Casita** (Jurásico Superior) y **Eagle Ford** (Cretácico Superior) como los principales objetivos, con

recursos estimados que superan los 14 MMMbpce y una complejidad estructural calificada como baja en sus áreas prospectivas prioritarias.

Introducción y Ubicación Geográfica

La Provincia Petrolera Sabinas-Burro-Picachos se localiza en la porción noreste de México, abarcando la parte central y septentrional de Coahuila y la región occidental y norte de Nuevo León. Geográficamente, se subdivide en dos unidades principales:

- **Provincia Geológica de Sabinas:** Ocupa 42,995.8 km² en el centro de Coahuila y el oeste de Nuevo León.
- **Provincia Geológica de Burro-Picachos:** También conocida como Península o Arco de Tamaulipas, cubre 51,089 km² en el norte de ambos estados.

Ambas provincias se consideran técnicamente como una sola unidad petrolera debido a la similitud en sus sistemas generadores y su historia de exploración, que inició formalmente con descubrimientos de gas seco en 1972.

Marco Estructural y Evolución Tectónica

Desde la perspectiva tectónica, la **Cuenca de Sabinas** ha sido interpretada como un **aulacógeno** (ruptura o fallamiento fallido) asociado directamente con la apertura del Golfo de México durante el Jurásico Medio. Sus límites están definidos por elementos paleogeográficos críticos:

- **Oriente:** Limitada por la Península de Tamaulipas, Picachos y el Alto de San Carlos.
- **Suroeste:** Colinda con la Isla de Coahuila.
- **Noroeste y Sureste:** Se extiende hacia la Cuenca de Chihuahua y se limita con el Arco de Monterrey, respectivamente.

Estructuralmente, la provincia presenta domos y despegues salinos, así como fallamiento inverso del basamento y plegamientos suaves, lo que en conjunto resulta en una **complejidad geológica baja** para el desarrollo de yacimientos de lutitas.

Marco Estratigráfico

La columna sedimentaria descansa sobre un basamento ígneo-metamórfico del Permo-Triásico. La secuencia de interés para recursos no convencionales incluye:

- **Jurásico Superior (Kimmeridgiano-Titoniano):** Destaca la **Formación La Casita**, compuesta por conglomerados, areniscas y lutitas carbonosas. Es el principal subsistema generativo en etapa de sobremadurez.
- **Cretácico Inferior:** Representado por una serie de

plataformas carbonatadas y siliciclásticos finos de las formaciones Menchaca, Barril Viejo, Padilla, La Mula, La Virgen y Cupido.

- **Cretácico Superior (Turoniano-Santoniano):** La unidad más relevante es la **Formación Eagle Ford**, constituida por lutitas y calizas arcillosas depositadas en condiciones de plataforma media a externa.

Evaluación de Plays No Convencionales

El potencial de la provincia se concentra en dos horizontes estratigráficos principales, análogos a los sistemas de Texas y Luisiana:

Característica	Play La Casita (Jurásico Sup.)	Play Eagle Ford (Cretácico Sup.)
Litología	Areniscas calcáreas y lutitas	Lutitas y calizas arcillosas
Tipo de Hidrocarburo	Ventana de Gas (Seco/Húmedo)	Ventana de Aceite y Gas
COT (%)	1.0 - 6.0%	0.6 - 5.0%
Madurez (Ro%)	1.2% a > 2.0%	0.2% a > 1.2%
Equivalente EE.UU.	Haynesville	Eagle Ford

La Formación **La Casita** es considerada la generadora más importante por su espesor y altas concentraciones de carbono orgánico. Por su parte, **Eagle Ford** presenta una mayor variabilidad, ofreciendo desde aceite ligero hasta gas seco según la profundidad y madurez térmica.

Actividad Reciente y Pozos de Referencia

Entre 2010 y 2013, se implementó una campaña para reducir la incertidumbre en la región. Los resultados clave incluyen:

1. **Pozo Percutor-1 (Cuenca de Sabinas):** Pozo horizontal que confirmó la extensión del *play* Eagle Ford en México, produciendo gas seco a profundidades de 3,330 - 3,390 m.
2. **Plataforma Burro-Picachos:** Se perforaron 6 pozos exploratorios en Eagle Ford, resultando en 3 pozos con gas y condensado y 2 con gas seco.
3. **Pozo Arbolero-1:** Probó con éxito el potencial de gas en el Jurásico Superior (La Casita) de Burro-Picachos.

Evaluación de Recursos y Reservas

La jerarquización de áreas sitúa a **Burro-Picachos** como la provincia con las características de hidrocarburo más

favorables en el país (puntuación de 10 en jerarquización). Los recursos medios estimados son:

- **Sabinas:** 49 MMMMpc (Tcf) de gas seco, equivalentes a 9.8 MMMbpce.
- **Burro-Picachos:** 0.6 MMMb de aceite, 6.6 MMMMpc de gas húmedo y 11.4 MMMMpc de gas seco, totalizando 4.2 MMMbpce.

En conjunto, la provincia representa un recurso prospectivo total de **14 MMMbpce**, consolidándose como un pilar estratégico para la seguridad energética nacional.

La Provincia Sabinas-Burro-Picachos posee una ventaja competitiva única debido a su **baja complejidad estructural** y la probada continuidad de la formación Eagle Ford desde territorio estadounidense. Con una infraestructura de exploración robusta (más de 1,000 pozos históricos analizados) y resultados positivos en pozos horizontales recientes como Percutor-1, la región está lista para una transición hacia el desarrollo masivo. El potencial de gas seco en Sabinas y la presencia de aceite y condensados en Burro-Picachos ofrecen una cartera diversificada de recursos para el mercado nacional.

3.3. Provincia de Burgos

La Provincia de Burgos, situada en el noreste de México, se clasifica como la **segunda en importancia** para la explotación de recursos no convencionales de lutitas orgánicas en el país. Con una extensión de 73,800 km², esta cuenca presenta una estructura geológica relativamente simple y favorable para el desarrollo de hidrocarburos en lutitas. Los objetivos principales se localizan en las formaciones **Agua Nueva** (Cretácico Superior), análoga al play Eagle Ford de Texas, y **Pimienta** (Jurásico Superior), correlacionable con la lutita Haynesville. Con recursos estimados de 44.3 MMMMpc de gas seco y 9.5 MMMMpc de gas húmedo, Burgos representa un activo estratégico para la producción de gas natural en México.

Introducción y Ubicación Geográfica

La Provincia Geológica de Burgos se ubica en el extremo noreste de la República Mexicana, abarcando principalmente el estado de Tamaulipas y partes de Nuevo León, extendiéndose costa afuera hacia la plataforma continental del Golfo de México. La cuenca posee una longitud de aproximadamente 650 km, desde Piedras Negras en el norte hasta la costa en el sur. Históricamente, ha sido una de las regiones más prolíficas para la producción de gas convencional en México, y actualmente se posiciona como un área prioritaria para recursos de *shale gas* y *shale oil*.

Marco Estructural y Evolución Tectónica

La evolución de la cuenca comenzó durante el Jurásico Temprano con una fase de expansión que dio lugar a una plataforma carbonatada restringida. Un elemento clave en su configuración son las **gruesas acumulaciones de sal** que formaron un despegue estructural regional y diapiros aislados.

Característica	Play Agua Nueva (Cretácico Sup.)	Play Pimienta (Jurásico Sup.)
Análogo EE.UU.	Eagle Ford (Texas)	Haynesville (Este de Texas)
Ventana Térmica	Aceite y Gas	Gas Húmedo y Seco
Tipo de Kerógeno	II	II - III
COT (%)	1.0 - 3.0%	1.0 - 5.5%
Potencial	Importante generadora	Principal generadora de gas

▢ **Estilo Estructural:** Predomina un sistema de **fallas lístricas** de orientación NO-SE con caída hacia el oriente, las cuales se vuelven más jóvenes hacia la costa.

▢ **Zonificación:** Se distinguen tres estilos de fallamiento:

1. Occidental: Fallas normales sindepositacionales en la franja del Paleoceno.

2. Central: Fallas de mediano a bajo ángulo en las franjas del Eoceno y Oligoceno.

3. Oriental: Fallas de crecimiento con planos casi verticales que afectan sedimentos del Mioceno y Plioceno. A pesar de la deformación durante la Orogenia Laramide, la cuenca mantiene una simplicidad estructural que facilita la continuidad de los horizontes de lutitas.

Marco Estratigráfico

La columna sedimentaria en Burgos alcanza espesores de entre 8,000 y 10,000 metros.

- **Basamento y Jurásico:** Sobre un basamento de lutitas y rocas íneas del Paleozoico se depositaron capas continentales (Grupo Huizachal) y posteriormente secuencias de sal y anhidrita (Fm. Minas Viejas).
- **Unidades Generadoras:** En el Jurásico Superior (Kimmeridgiano-Titoniano) se depositaron las formaciones **La Casita y Pimienta**, ricas en materia orgánica.
- **Cretácico:** La subsidencia permitió la acumulación de carbonatos profundos, destacando la **Formación Agua Nueva** en el Turoniano. Hacia el final del Mesozoico, la sedimentación carbonatada fue reemplazada por rocas siliciclásticas de las formaciones San Felipe y Méndez.

Evaluación de Plays No Convencionales

Burgos concentra su potencial en dos sistemas petroleros no convencionales de clase mundial:

Actividad Reciente y Pozos Exploratorios

Entre 2010 y 2013, PEMEX ejecutó una campaña intensiva de perforación para evaluar el potencial no convencional, resultando en 10 pozos exploratorios exitosos en las formaciones Agua Nueva y Pimienta.

▢ **Resultados de Ventana:** Seis pozos confirmaron condiciones de gas seco, tres probaron gas y condensados, y uno resultó en aceite ligero.

▢ **Pozos Clave:** Destacan los pozos horizontales **Habano-21, Habano-71 y Habano-2**, los cuales mostraron producciones iniciales de gas de entre 0.9 y 2.3 MMPCD, acompañados de condensados (23-40 BPD). El pozo **Anhelido-2** probó la presencia de aceite y gas en la Formación Pimienta.

Evaluación de Recursos

La clasificación de áreas basada en reservas coloca a Burgos como un pilar para la seguridad de gas en la nación. Los recursos técnicamente recuperables se estiman en:

- **Gas Seco:** 44.3 MMMMpc.
- **Gas Húmedo:** 9.5 MMMMpc.
- **Total en Energía:** Aproximadamente **10.8 MMMbpce**.

La Provincia de Burgos es una cuenca de **baja complejidad geológica** que ofrece una oportunidad única para la extracción de gas natural a gran escala. La probada continuidad de sus formaciones con los prolíficos yacimientos de Estados Unidos, sumada a los resultados positivos de los pozos exploratorios recientes como la serie Habano, confirman que la región posee las características de roca (COT y madurez) necesarias para un desarrollo comercial exitoso. Su posición como la segunda provincia más importante de México la consolida como el futuro centro de producción de gas no convencional del país.

3.4. Provincia Tampico-Misantla

La Provincia Tampico-Misantla, ubicada en la porción centro-oriental de México, se clasifica como la **primera en importancia** a nivel nacional respecto al potencial de recursos asociados a yacimientos no convencionales de

lutitas orgánicas. Con una superficie de 57,170 km², esta cuenca de antepaís alberga una potente columna sedimentaria que alcanza espesores de hasta 7 km. El análisis geológico identifica a la Formación **Pimienta** (Jurásico Superior) como la principal roca generadora y objetivo no convencional, seguida por la Formación **Agua Nueva** (Cretácico Superior). Con recursos estimados de 30.7 MMMb de aceite y 20.7 MMMMpc de gas húmedo, esta provincia se consolida como el activo estratégico más importante para la producción de hidrocarburos líquidos no convencionales en el país.

Introducción y Ubicación Geográfica

La Provincia Geológica Tampico-Misantla se localiza en la región centro-oriental de la República Mexicana. Su extensión abarca desde el extremo sur del estado de Tamaulipas hasta la parte central de Veracruz, incluyendo porciones de San Luis Potosí, Hidalgo y el norte de Puebla, extendiéndose hacia el Golfo de México hasta la isobata de 200 metros. Debido a su vasta riqueza orgánica y madurez térmica, es considerada la región con el mayor potencial prospectivo de aceite y gas en lutitas de México.

Marco Estructural y Evolución Tectónica

Estructuralmente, Tampico-Misantla se define como una cuenca de margen pasivo con bloques de basamento originados durante la apertura del Golfo de México. Su evolución a una **Cuenca de Antepaís (Foreland Basin)** ocurrió tras el emplazamiento del Cinturón Plegado de la Sierra Madre Oriental al occidente.

Entre sus elementos estructurales más significativos se encuentran:

- 1. En el norte:** El Alto de Tamaulipas y el Homoclinal de San José de las Rusias.
- 2. En el centro:** El Paleocañón Bejuco-La Laja y el Alto de la Sierra de Tantima.
- 3. Hacia el sur:** El Paleocanal de Chicontepec, el cual posee una gran relevancia económica al asociarse con las mayores reservas remanentes del país.
- 4. Límites regionales:** Al este colinda con la Plataforma de Tuxpan y al oeste con el frente tectónico del Cinturón Plegado y Cabalgado de la Sierra Madre Oriental.

Marco Estratigráfico

La columna sedimentaria descansa sobre un basamento de rocas ígneas y metamórficas del Pérmico-Triásico.

- **Jurásico Superior (Titoniano):** Se depositó la **Formación Pimienta**, compuesta por arcillas calcáreas con alto contenido de materia orgánica. En el sur de la cuenca, esta unidad alcanza profundidades operables de entre 1,400 y 3,000 metros.
- **Cretácico Superior (Turoniano):** Representado por la **Formación Agua Nueva**, caracterizada por un alto

contenido de materia orgánica (COT entre 0.5% y 8.0%) y predominantemente kerógeno tipo II.

- **Cenozoico:** Predominan rocas siliciclásticas en el Paleógeno y Neógeno que cubren las secuencias carbonatadas mesozoicas.

Evaluación de Plays No Convencionales

La provincia destaca por sus sistemas petroleros probados que ya han establecido producción en pozos verticales convencionales, confirmando la calidad de la roca.

Característica	Play Pimienta (Jurásico Sup.)	Play Agua Nueva (Cretácico Sup.)
Importancia	Principal roca generadora	Generadora de regular importancia
Tipo de Hidrocarburo	Aceite ligero y Gas húmedo	Aceite y Gas húmedo
Calidad de Aceite	Ligero (40° API), bajo azufre	Ligero (40° API), bajo azufre
COT (%)	1.0 - 8.0%	0.5 - 8.0%
Madurez Térmica	Ventana de Aceite y Gas	Inmadura a madura (ventana de aceite)

Actividad Reciente y Pozos de Referencia

Entre 2011 y 2013, PEMEX perforó tres pozos horizontales estratégicos para evaluar el potencial no convencional en la Formación Pimienta:

1. **Corralillo-157:** Confirmó la presencia de aceites saturados en matriz fracturada con un índice de saturación de aceite (OSI) de 2.00.
2. **Horcones-8127:** Registró una relación gas-aceite (RGA) de 2,870 pc/bls, indicando una alta productividad de hidrocarburos líquidos.
3. **Presidente Miguel Alemán-802:** Pozo horizontal que complementó la caracterización de la matriz de lutitas en el sur de la provincia.

Los resultados muestran que los niveles con mayores saturaciones de hidrocarburos coinciden directamente con las fracturas naturales observadas en registros de imagen (OBMI).

Evaluación de Recursos y Reservas

Tampico-Misantla lidera la jerarquización nacional de áreas prospectivas. Sus recursos técnicamente

recuperables ascienden a **34.8 MMMbpce**, desglosados de la siguiente manera:

□ **Aceite:** 30.7 MMMb (lo que representa más del 95% del potencial total de aceite no convencional de México).

□ **Gas Húmedo:** 20.7 MMMMpc.

Estudios de integración indican que el 90% del importe total de sus recursos se considera hidrocarburo líquido, lo que la diferencia de las cuencas del norte, predominantemente gasíferas.

La Provincia Tampico-Misantla es el pilar fundamental de los recursos no convencionales en México debido a su baja complejidad estructural en áreas prioritarias y su excepcional riqueza de aceite ligero. La Formación Pimienta se consolida como un *play* de clase mundial, comparable en calidad a los sistemas más productivos de Norteamérica. Con una infraestructura de pozos exploratorios exitosos y modelos geoquímicos que confirman una tendencia constante de madurez en la ventana de aceite, la provincia representa la mayor oportunidad para la seguridad energética nacional en materia de hidrocarburos líquidos

3.5. Provincia de Veracruz

La Provincia de Veracruz, situada en el oriente de México, representa una región de gran interés geológico, aunque con retos significativos para el desarrollo de recursos no convencionales de aceite y gas en lutitas. Con una superficie aproximada de 32,820 km², esta provincia se distingue por una **alta complejidad estructural** derivada de su relación con el frente tectónico sepultado de la Sierra Madre Oriental. El potencial no convencional se concentra principalmente en la **Formación Maltrata** (Cretácico Superior - Turoniano), la cual presenta una riqueza orgánica considerable. A pesar de los indicios de hidrocarburos en pozos convencionales, la evaluación de estos recursos se proyecta a mediano y largo plazo debido a las dificultades técnicas impuestas por su entorno tectónico.

Introducción y Ubicación Geográfica

La Provincia Geológica de Veracruz se localiza en el oriente del país, abarcando mayoritariamente el estado de Veracruz y extendiéndose hacia la plataforma continental del Golfo de México en aguas someras. Está delimitada geográficamente por la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico, la Sierra de los Tuxtlas y el propio Golfo. Su extensión territorial es de unos 32,820 km², consolidándose como una de las cuencas sedimentarias clave del litoral mexicano.

Marco Estructural y Evolución Tectónica

Desde la perspectiva geológica, la provincia se considera de alta complejidad estructural. Está conformada por dos elementos principales divididos por una falla regional inversa:

Característica	Detalle Técnico
Litología	Caliza arcillosa rica en materia orgánica
Tipo de Kerógeno	Tipo II
Espesor promedio	50 a 150 metros (estimado de 92 m de roca rica)
Contenido Orgánico (COT)	0.5% a 8.0% (promedio de 3%)
Madurez Térmica (Ro)	Ventana de aceite (0.85% Ro) < 3,350 m; Ventana de gas (1.4% Ro) < 3,500 m

□ **Plataforma Mesozoica de Córdoba:** Situada al occidente, donde se han descubierto campos convencionales en carbonatos del Cretácico.

□ **Cuenca Terciaria de Veracruz (CTV):** Localizada al oriente, con campos de gas en areniscas del Mioceno.

Su evolución tectónica incluye fases de "rift" y deriva, seguidas por la deformación laramídica que originó el **Frente Tectónico Sepultado**. Eventos posteriores, como el desplazamiento del bloque Chortis y la formación del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, reorientaron los regímenes tectónicos en la región.

Marco Estratigráfico

La columna sedimentaria de Veracruz alcanza espesores máximos de hasta 10 km. Se compone de un basamento cristalino paleozoico-triásico sobre el cual descansan secuencias marinas del Mesozoico y siliciclásticas del Terciario.

- **Jurásico Superior:** Incluye calizas bituminosas de la Formación Tepexilotla con potencial de generación.
- **Cretácico Superior:** Destaca la **Formación Maltrata** (Turoniano), una unidad de máxima transgresión compuesta por *mudstones* y *wackestones* arcillosos laminados depositados en condiciones anóxicas.

Evaluación del Play No Convencional: Formación Maltrata

El principal objetivo no convencional en la provincia es el Play Turoniano Maltrata. Sus características geoquímicas y geológicas fundamentales son:

Estudios recientes indican que el área prospectiva es menor a lo supuesto anteriormente, ya que las rocas generadoras se encuentran sumergidas en ángulos más pronunciados de lo cartografiado previamente.

Evaluación de Recursos y Jerarquización

A diferencia de otras provincias como Tampico-Misantla, Veracruz se encuentra en una posición inferior en la jerarquización nacional debido a su complejidad geológica.

□ **Recursos técnicamente recuperables:** Se estiman en **0.6 MMMb de aceite**.

□ **Clasificación de Hidrocarburo:** Predomina el potencial de aceite y gas asociado en sus ventanas de maduración.

Estado de la Exploración y Actividades Recientes

No se ha registrado actividad reciente de perforación dirigida específicamente a yacimientos no convencionales

en esta provincia. Sin embargo, existe una base de información importante proveniente de pozos convencionales que han registrado manifestaciones consistentes de aceite y gas en la secuencia del Turoniano. La alta complejidad tectónica, al estar ligada al frente sepultado de la Sierra Madre Oriental, obliga a que su evaluación formal se realice en el mediano y largo plazo.

La Provincia de Veracruz posee un sistema petrolero no convencional probado en la Formación Maltrata, con espesores y riqueza orgánica (COT hasta 8%) comparables a otros *plays* exitosos. No obstante, su **alta complejidad tectónica** y la profundidad de sus ventanas de maduración representan desafíos técnicos considerables. Mientras que provincias como Burgos o Sabinas presentan una complejidad estructural baja, Veracruz requiere de tecnologías avanzadas y mayor certidumbre geológica para transformar su potencial de 0.6 MMMb de aceite en reservas comerciales



5. Evaluación de Recursos y Reservas

La estimación de los recursos medios no convencionales en México asciende a **60.2 MMMbpce**. La distribución por tipo de hidrocarburo es la siguiente:

- **Aceite y condensados:** 31.9 MMMbp (liderado por Tampico-Misantla con 30.7 MMMbp).
- **Gas Natural:** 141.5 MMMMpc (desglosado en 104.7 MMMMpc de gas seco y 36.8 MMMMpc de gas húmedo).

La jerarquización de áreas sitúa a **Burro-Picachos y Tampico-Misantla** como las provincias con mayor madurez y riqueza orgánica, seguidas de Burgos y Sabinas.

6. Conclusiones Generales

México posee una posición geológica privilegiada para la explotación de recursos no convencionales, con sistemas petroleros probados que guardan continuidad con plays altamente productivos en Estados Unidos. Aunque provincias como Tampico-Misantla ofrecen un potencial de aceite de clase mundial, otras como Veracruz presentan desafíos técnicos por su complejidad estructural. El análisis de más de 1,000 pozos y la información geofísica de décadas de exploración permiten hoy a la nación mexicana trazar una estrategia clara para la extracción sustentable y eficiente de su riqueza en lutitas orgánicas.



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

7. Referencias

- Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.** (2011). Sinopsis geológica de la Cuenca de Burgos, noreste de México: Producción y recursos petroleros. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(2), 2–32.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos.** (2017). *Atlas geológico: Recursos no convencionales (Lutita gas/aceite)*. Centro Nacional de Información de Hidrocarburos.
- Comisión Nacional de Hidrocarburos.** (2016). *Geology and oil potential in the Gulf of Mexico basin: Provinces, structural settings & plays*.
- Energy Information Administration & Advanced Resources International, Inc.** (2013). *World shale gas and shale oil resource assessment: Technically recoverable shale gas and shale oil resources*.
- Escalera Alcocer, J. A.** (2010). *Estrategia, logros y desafíos de la exploración petrolera en México* [Trabajo de ingreso]. Academia de Ingeniería, México.
- Instituto Mexicano del Petróleo.** (2016). *Caracterización geoquímica del área Galaxia* [Proyecto de asimilación y desarrollo de tecnología]. plays de shale gas/oil en México.
- Pemex Exploración y Producción.** (2010). *Provincia petrolera Sabina Burro-Picachos* (Versión 1.0). Subdirección Técnica de Explotación.
- Pemex Exploración y Producción.** (2010). *Sistemas petroleros de México* (Versión 1.0). Subdirección Técnica de Exploración.
- Unconventional Resources Technology Conference.** (2016). *Mexican unconventional plays: Geoscience, endowment and economic considerations* (URTeC: 2460927).
- Unconventional Resources Technology Conference.** (2016). *Mexico's Tithonian Pimienta shale: Potential for unconventional production* (URTeC: 2433439)

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

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

De mis memorias: Fascinación por los Pliegues

Manuel A. Iturralde-Vinent

Académico de Mérito, ACC

Introducción

El cerebro humano encierra misterios y sorpresas, incluso para el que se supone dueño o usuario de uno. En ocasiones, en la fase de sueño REM, poco antes de despertar, surge una idea interesante, relacionada con un tema que se ha estado analizando durante el día; pero algunas veces, como la que voy a referir, una idea totalmente novedosa se presenta sin análisis previo. Por ejemplo, ayer madrugué con la idea de preparar un capítulo sobre pliegues, donde referiría algunas experiencias personales al respecto. Me desperté entusiasmado pues no se me había ocurrido en estado de vigilia, así que durante la mañana me puse a analizar algunas experiencias que valía la pena compartir. Hoy estoy escribiendo este ensayo, después de haber seleccionado algunas fotos viejas y revisado un par de artículos e informes. Ahí les van los resultados:

Pliegues sinsedimentarios en Sierra de Cubitas

El tema se originó hace algunos años, durante la cartografía detallada de la Sierra de Cubitas y su entorno con la brigada CUBA-RDA⁽¹⁾, cuando medí diversos pliegues por el camino al caserío Pozo Vilató, en Paso Paredones, en las paredes de Hoyo Bonet y en bloques de rocas sedimentarias algo recristalizadas embebidas en el melange serpentinitico al sur de la sierra. Estos son lugares en extremo interesantes, donde se pueden observar amplias secciones de las rocas que constituyen las ofiolitas y la Sierra de Cubitas, así como su peculiar paisaje de formas kársticas.

Al estudiar los pliegues apretados e isoclinales que aparecen en calizas laminares, con estratificación fina de la Formación Vilató (Cenomaniense y Turoniense, 89-98 Ma), en la Sierra de Cubitas (Figura 1), mi primera apreciación fue que eran el resultado de las deformaciones tectónicas que ocurrieron cuando los mantos de ofiolitas se deslizaron sobre estas calizas, y así se expuso en el informe sobre la cartografía⁽¹⁾.

A partir de aquellos días, el Hoyo Bonet se convirtió en mi lugar preferido para llevar a colegas y amistades que

visitaban Camagüey. Este hoyo (casimba), tiene más de 80 metros de profundidad y hasta 300 metros de diámetro, al que se desciende por paredes verticales aprovechando las raíces de los árboles. En una ocasión, dos de los visitantes sufrieron un ataque de pánico a medio camino del descenso y llorando se agarraron fuertemente a las raíces, negándose a seguir bajando o regresar. En definitiva logramos convencerles de que no podían pernoctar colgados de las raíces en medio del abismo, de modo que, no sin fuerte oposición, se dejaron rescatar.

Volviendo a la geología, yo tenía mis dudas sobre la estructura geológica de la Sierra de Cubitas, de modo que a principio del año 2007 invité a Douwe J.J. van Hinsbergen para que realizara un análisis estructural del contacto ofiolitas-calizas, y pocos meses después, en compañía de su colega Pim W.G. van Geffen (Figura 2), compartimos un par de semanas de trabajo en la zona, donde realizamos numerosas mediciones en lugares selectos.

Cuando estudiaron en detalle los pliegues que se observan en las paredes del Hoyo Bonet, Douwe y Pin llegaron a una conclusión que me dejó anonadado. Esos pliegues en las calizas laminares de la Formación Vilató no eran el producto de deformaciones tectónicas como yo pensaba, sino el resultado de deslizamientos submarinos.

Es decir, que algunas capas de lodo laminar saturadas de agua, acumuladas en el fondo marino, de algún modo se despegaron y deslizaron por la pendiente submarina hace millones de años, a cuenta de su peso. Al llegar hasta alguna irregularidad del fondo, las masas deslizantes se amontonaron y plegaron debido a la energía cinética que las empujaba, formando algunos pliegues recumbentes (Figura 3). En definitiva, aquellos pliegues que tanto me habían impresionado, resultaron haberse formado en el talud de una rampa submarina suave que descendía hacia aguas más profundas. Lo que no sabemos aún es la causa que determinó el desprendimiento de esas masas de lodo, que pudiera haber sido algún terremoto o un evento de oleaje extremo, pues dichos pliegues no abarcan toda la sección expuesta.

Había conocido este proceso y documenté este tipo de pliegues sinsedimentarios en rocas areno-arcillosas bien estratificadas del Cretácico Maastrichtiense de La Habana, pero no pude imaginarme que el mismo fenómeno se presentase en rocas calizas duras. Ahí perdí la perspectiva, pues las calizas en definitiva son lodos que con el tiempo se petrifican. Dicho en otras palabras, siempre hay tiempo para aprender y corregir errores (2).



Figura 1. Calizas poco porosas con un alto grado de karstificación, inclinadas hacia el suroeste. A- Hoyo Bonet, B y C- Paredes de Paso Paredones, Sierra de Cubitas.



Figura 2. Douwe y Pin realizan mediciones estructurales en Cuba.



Figura 3. Pliegue apretado en las calizas laminares finamente estratificadas de la Formación Vilató en el Hoyo Bonet.

Km Trece y medio, Carretera Viñales-La Palma

La verdad sea dicha, los plegamientos constituyen un proceso geológico muy carismático por su elegancia, y siempre impresiona ver rocas duras y frágiles formando masas plegadas como si se tratara de materiales con alta plasticidad. Mi primera experiencia con plegamientos impresionantes, fue el famoso corte en el kilómetro trece y medio de la carretera de Viñales a La Palma, en Pinar del Río; que conocí gracias al maestro de geólogos Gustavo Furrázola Bermúdez, en la década de los sesenta (Figura 4).

Allí está bien expuesta la así llamada Formación San Cayetano, que son las rocas más antiguas de las montañas

de Guaniguanico, pues se formaron como parte del supercontinente *Pangea*, antes que Cuba existiera. Son estratos de areniscas y pizarras arcillosas bien estratificadas, con la particularidad de que los granos varían desde muy finos abajo hasta más gruesos arriba. Esto tiene muchas explicaciones, pero en este caso se determinó que se trata de estratos invertidos, lo cual es común en secuencias sobrecorridas. Digamos que se originan en el fondo del mar como una sucesión A-B-C, y al plegarse, este ordenamiento se convierte en C-B-A. Asimismo, cuando se trata de pliegues recumbentes como estos, el plano axial es subhorizontal con el ápice inclinado hacia abajo (Figura 4).



Figura 4. Pliegues recumbentes en el km 13.5 de la carretera entre la Palma y Viñales. Se caracterizan porque sus planos axiales son subhorizontales y los estratos pueden tener gradación granular invertida

Silicitas Santa Teresa

Hay un grupo de rocas en Cuba conocida como Formación Santa Teresa, distribuido desde las lomas de Camaján en Camagüey hasta la Sierra del Rosario en Pinar del Río. Son rocas silíceas (calcedonitas, radiolaritas, etc.), frágiles como el vidrio, que se fracturan en muchos pedazos al golpearlas con el martillo. Por lo general están muy plegadas (Figura 5), aun cuando las secciones sobre- e

infra-yacentes no lo están. Y de aquí surge la pregunta: ¿Cómo es posible que rocas tan frágiles se deformen tanto? La explicación está en que son capas finamente estratificadas que al someterse a presiones geodinámicas confinadas se deforman muy fácilmente. En ocasiones, en las capas tipo Santa Teresa se concentran las deformaciones, de manera que las secciones suprayacentes se despegan (decollegement) y desplazan lateralmente facilitando la ocurrencia de sobrecorrimientos.



Figura 5. Pliegues muy comunes en la Formación Santa Teresa. Corte en el norte de Villa Clara.

Pliegues en rocas metamórficas

Estos pliegues se presentan en rocas sedimentarias, volcánicas o volcano-sedimentarias que han sufrido algún metamorfismo, de modo que han alcanzado cierta fluidez, de manera que se desarrollan pliegues realmente espectaculares. Estos se observan en los macizos metamórficos de Isla de la Juventud, Montañas de Guamuhaya, Las Montañas de Purial, y otras. Cortes muy interesantes se encuentra en Guamuhaya, por la carretera de Manicaragua a Condado, donde se observan esquistos

calcáreos (Figura 6A) y mármoles (Figura 6B) muy deformados.

Estas deformaciones en las rocas metamórficas de Guamuhaya ocurrieron cuando los sedimentos formados en el fondo del mar se hundieron por la zona de subducción, hasta alcanzar profundidades propias del manto superior, y fueron allí sometidas a temperaturas y presiones altas. Los mármoles y esquistos calcáreos eran originalmente rocas calizas o dolomías.



Figura 6. Pliegues apretados en los esquistos (A) y mármoles (B) de Guamuhaya, por la carretera de Manicaragua a Condado. En A la línea roja indica el eje de un pliegue. En B se pueden distinguir muchos pliegues isoclinales.

Perfil Loma La Fuente-San Antonio del Sur

Durante algunas prácticas de campo con Alice Boiteau en Guantánamo, entre 1972 y 1973, visitamos Loma La Fuente, donde afloran esquistos y mármoles multiplegados, de alta presión – baja temperatura, donde aprendí a realizar mediciones estructurales en estas rocas.

La figura 7 es una copia, con leyenda mejorada, de un perfil general que dibujé en mi libreta de campo con los principales elementos del relieve y la posición geológica de las rocas. Los geólogos debemos saber dibujar este tipo de esquemas, que sirven de orientación para elaborar las versiones más cuidadosas durante los trabajos de gabinete.

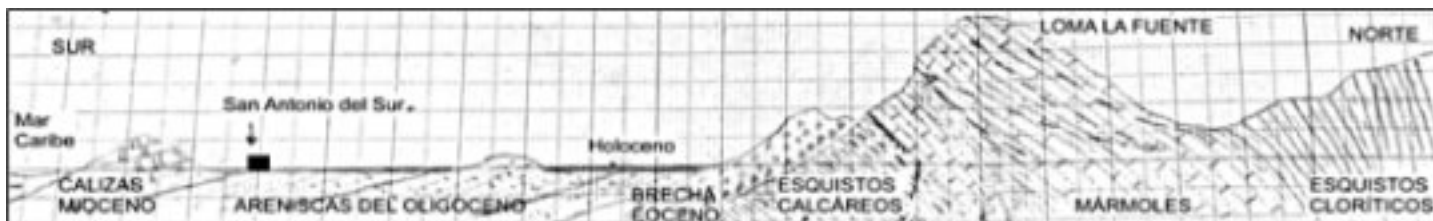


Figura 7. Perfil esquemático entre el mar Caribe (SUR) y Loma La Fuente (NORTE), en San Antonio del Sur, Guantánamo. Los esquistos y mármoles presentan números pliegues grandes y pequeños.

NOTAS

(1) Iturralde-Vinent, M., Thieke, H.U. (Editores), 1987. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes del Polígono CAME III, Camagüey. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana (inédito).

(2) Van Hinsbergen, D.J.J., Iturralde-Vinent, M., P.W.G. van Geffen, García-Casco, A. y van Benthem, S., 2009. Structure of the accretionary prism and the evolution of the Paleogene northern Caribbean subduction zone in the region of Camagüey, Cuba. Journal of Structural Geology 31:1130-1144, doi: 10.1016/j.jsg.2009.06.007.



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

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

Ignimbritas: Formación, Características y Significado Geológico

Maria Fernanda Cerca Ruiz^{1*}, Sumit Mishra², Eduardo González Partida¹, Sanjeet K. Verma³, Alejandro Carillo Chávez¹, Juan Josué Enciso Cárdenas²

¹*Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Blvd. Juriquilla 3001, 76230 Querétaro, Qro., México*

²*Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Simón Bolívar # 303A, Nueva Rosita, Coahuila de Zaragoza, C.P. 26830, México*

³*División de Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Camino a la Presa San José 2055, San Luis Potosí, 78216, México*

*Corresponden: fernanda.cerca@geociencias.unam.mx

Resumen

Las ignimbritas son depósitos volcánicos originados por corrientes piroclásticas de alta densidad generadas durante erupciones altamente explosivas y ricas en sílice. Estos flujos calientes y turbulentos transportan cenizas, piedra pómez y fragmentos de roca a grandes distancias, formando depósitos extensos y, en general, mal clasificados. Dependiendo de la temperatura de emplazamiento y de las condiciones de enfriamiento, las ignimbritas pueden presentarse como materiales poco compactados o como rocas densamente soldadas con texturas características como las *fiamme*. Debido a su amplia distribución y a la información que conservan sobre procesos eruptivos y tectónicos, las ignimbritas son fundamentales para comprender la evolución volcánica de la Tierra y para evaluar los peligros asociados al vulcanismo explosivo.

Introducción

Las ignimbritas son rocas volcánicas formadas a partir de corrientes piroclásticas, flujos extremadamente calientes y rápidos compuestos por gases volcánicos y materiales fragmentados que se desplazan pegados al suelo tras erupciones explosivas. El término “ignimbrita” deriva de las palabras latinas *ignis* (fuego) e *imber* (lluvia), y se refiere a la “lluvia de fuego” producida durante estos eventos volcánicos (Fisher & Schmincke, 1984). Estas rocas son de gran importancia en vulcanología y estratigrafía porque registran algunos de los procesos eruptivos más violentos de la historia geológica y pueden extenderse por áreas muy amplias (Branney & Kokelaar, 2002; Schmincke, 2004).

Las ignimbritas presentan una amplia variedad de características físicas, desde depósitos ricos en ceniza y poco consolidados hasta tobas densamente soldadas formadas bajo altas temperaturas y presión de carga (Fisher & Schmincke, 1984). Generalmente poseen composiciones dacíticas o riolíticas, lo que refleja su origen en magmas evolucionados y ricos en sílice. Sus texturas, asociaciones minerales y relaciones de campo proporcionan información importante sobre la dinámica eruptiva, el transporte dentro de las corrientes piroclásticas y los procesos posteriores de soldadura y alteración (Branney & Kokelaar, 2002).

Formación de las ignimbritas

La formación de las ignimbritas está asociada a erupciones volcánicas altamente explosivas vinculadas a magmas ricos en sílice. Durante estas erupciones, grandes volúmenes de magma cargado de gases son expulsados violentamente hacia la superficie, generando columnas eruptivas que, en muchos casos, colapsan por su propio peso. Este colapso produce corrientes de densidad piroclástica, que son mezclas turbulentas de gases calientes y fragmentos volcánicos que se desplazan

rápidamente a ras del suelo (Branney & Kokelaar, 2002; Sparks, 1976).

Las corrientes piroclásticas contienen ceniza fina, fragmentos de vidrio volcánico, lapilli de piedra pómez, bloques líticos y gases volcánicos calientes. Debido a su alta densidad, son mucho más pesadas que el aire circundante y pueden alcanzar temperaturas entre 100 y 700 °C y velocidades superiores a 100 m/s, recorriendo decenas o incluso cientos de kilómetros desde el volcán (Sparks, 1976; Branney & Kokelaar, 2002). Estas corrientes representan uno de los fenómenos volcánicos más destructivos debido a su elevada temperatura y velocidad.

Aunque el colapso de la columna eruptiva constituye el mecanismo más común de formación de ignimbritas, también pueden originarse por colapso de domos volcánicos, por explosiones laterales y por erupciones de rebosamiento. En estos casos, el material volcánico es expulsado directamente desde el conducto o mediante el derrumbe gravitacional de estructuras volcánicas inestables, lo que también genera flujos piroclásticos calientes y densos (Branney & Kokelaar, 2002; Sparks, 1976).

Cuando la turbulencia del flujo disminuye, el material comienza a depositarse rápidamente formando capas extensas y gruesas. Estos depósitos suelen estar mal clasificados porque partículas grandes y pequeñas se depositan simultáneamente. Muchas ignimbritas presentan múltiples unidades de flujo, lo que indica que las erupciones ocurrieron en pulsos o episodios sucesivos (Walker, 1983).

En depósitos suficientemente calientes ocurre un proceso conocido como la soldadura. Si la temperatura permanece por encima de la temperatura de transición vítrea, los fragmentos de vidrio volcánico se deforman plásticamente bajo el peso del material suprayacente. Los fragmentos de piedra pómez se aplastan y forman estructuras alargadas, llamadas *fiamme*, típicas de las ignimbritas soldadas (Fisher & Schmincke, 1984). La intensidad de la soldadura depende de factores como la temperatura inicial, el

espesor del depósito y la velocidad de enfriamiento (Schmincke, 2004).

Características principales de las ignimbritas

Las ignimbritas presentan una amplia diversidad de características físicas y mineralógicas que reflejan tanto las condiciones de emplazamiento como los procesos posteriores de alteración. El color de estas rocas puede variar considerablemente dependiendo del grado de soldadura y de la composición mineralógica. Las ignimbritas poco soldadas suelen presentar tonalidades blancas o grises claros debido a su alto contenido de piedra pómez y ceniza, mientras que las densamente soldadas muestran colores grises oscuros o negros, asociados a estructuras compactas y ricas en vidrio volcánico. Los tonos rojizos o marrones suelen indicar la oxidación de minerales ricos en hierro durante el enfriamiento o una alteración posterior (Fisher & Schmincke, 1984; Schmincke, 2004).

La textura constituye uno de los rasgos diagnósticos más importantes de las ignimbritas. Las ignimbritas soldadas presentan textura eutáxita, caracterizada por *fiamme* alineadas dentro de una matriz fina de ceniza y vidrio volcánico. Esta textura se produce cuando el depósito permanece a temperatura suficiente para deformarse plásticamente durante el proceso de soldadura (Walker, 1983; Branney & Kokelaar, 2002). En contraste, las ignimbritas poco soldadas suelen presentar una textura masiva, con escasa estratificación interna y una mezcla desordenada de materiales volcánicos (Fisher & Schmincke, 1984).

Mineralógicamente, las ignimbritas suelen ser félsicas y están compuestas principalmente por cuarzo, feldespato potásico y biotita. También pueden contener hornblenda, piroxeno y minerales opacos como magnetita y hematita. Con el tiempo, el vidrio volcánico puede experimentar procesos de devitrificación y alteración hidrotermal, formando minerales secundarios como arcillas y zeolitas, que modifican las propiedades físicas y texturales de la roca (Fisher & Schmincke, 1984; Schmincke, 2004).



Figura 1: Formación de ignimbrita en tres etapas. Una erupción volcánica explosiva libera cenizas, gases y fragmentos de lava; estos materiales generan un flujo piroclástico de alta temperatura que desciende por las laderas; finalmente, al depositarse y enfriarse, forman capas de ceniza y toba soldada que constituyen el depósito de ignimbrita.

En afloramiento, las ignimbritas suelen aparecer como capas extensas asociadas a grandes sistemas de calderas volcánicas. Estas capas pueden cubrir miles de kilómetros cuadrados y presentar unidades de enfriamiento diferenciadas que corresponden a episodios eruptivos distintos (Branney & Kokelaar, 2002). Las facies proximales, ubicadas cerca del volcán, contienen bloques líticos grandes y depósitos gruesos asociados a condiciones de alta energía, mientras que las facies distales contienen principalmente ceniza fina y piedra pómez mejor clasificada, lo que indica una disminución de la energía durante el transporte.

Además, muchas ignimbritas presentan estructuras internas y deformaciones asociadas a procesos posteriores al depósito. Entre estas características destacan las juntas columnares formadas por

enfriamiento, las zonas de alteración en fase de vapor y las deformaciones reomórficas producidas cuando el material aún caliente continúa fluyendo después de su emplazamiento (Schmincke, 2004). Estas estructuras ayudan a interpretar las condiciones térmicas y dinámicas del depósito.

Importancia geológica de las ignimbritas

Las ignimbritas son fundamentales para comprender el vulcanismo explosivo, la evolución magmática y la historia tectónica de diversas regiones. Estos depósitos registran evidencia directa de supererupciones y eventos volcánicos de gran magnitud asociados a la formación de calderas volcánicas (Self, 2015; Schmincke, 2004). El tamaño, el espesor y la distribución de las ignimbritas permiten reconstruir con precisión la magnitud de las erupciones, el



Figura 2. Depósito de ignimbrita procedente de la zona occidental de Gran Canaria, que muestra texturas volcánicas características y coloración producida durante el emplazamiento y enfriamiento de corrientes de densidad piroclástica. Ancho de la imagen: 12 cm. (Fuente: Sandatlas).

volumen de magma expulsado y la dinámica de las corrientes piroclásticas. Muchas ignimbritas están asociadas con eventos VEI 6–8, considerados entre las erupciones más grandes de la historia geológica.

Debido a que las ignimbritas pueden depositarse sobre áreas extremadamente grandes en intervalos geológicamente muy cortos, sirven como excelentes marcadores estratigráficos. Los geólogos las utilizan para correlacionar secuencias rocosas entre regiones distantes y reconstruir historias tectónicas y volcánicas regionales (Lowe & Alloway, 2015). Las técnicas de datación radiométrica, como Ar-Ar y U-Pb, permiten establecer edades precisas para estos depósitos, facilitando la correlación temporal de eventos geológicos a gran escala.

Las corrientes de densidad piroclástica responsables de la formación de ignimbritas representan también uno de los mayores peligros volcánicos. Estas corrientes poseen temperaturas extremadamente altas y velocidades capaces de destruir ciudades enteras en cuestión de minutos. Además, pueden superar barreras topográficas y recorrer grandes distancias, generando devastación masiva y efectos ambientales de largo alcance (Sparks, 1976; Branney & Kokelaar, 2002). Por esta razón, el estudio de ignimbritas modernas y antiguas resulta esencial para el monitoreo y evaluación de riesgos volcánicos.

Ejemplos importantes de ignimbritas

Algunas de las mayores erupciones volcánicas conocidas quedan registradas en depósitos de ignimbrita. La Ignimbrita Campana, ocurrida hace aproximadamente 39 mil años, constituye una de las mayores erupciones cuaternarias y cubrió amplias regiones de Europa y del norte de África (Self, 2015). De manera similar, el sistema volcánico de Yellowstone produjo enormes mantos de ignimbrita durante eventos como los de Lava Creek y Huckleberry Ridge, asociados a supererupciones que transformaron amplias regiones de América del Norte.

En Sudamérica destacan las ignimbritas andinas, en particular la Ignimbrita de Atana, considerada uno de los depósitos volcánicos más grandes del planeta. En México, la Sierra Madre Occidental alberga una de las provincias ignimbriticas más extensas del mundo y se formó durante el evento conocido como *Ignimbrite Flare-up* del Terciario Medio (Dickinson & Lawton, 2001). Esta región cubre aproximadamente 400,000 km² y contiene enormes volúmenes de ignimbritas riolíticas y riodacíticas originadas a partir de grandes sistemas de calderas volcánicas.

En el Cinturón Volcánico Transmexicano también existen ignimbritas más jóvenes asociadas a sistemas volcánicos activos y recursos geotérmicos. Estos depósitos son importantes tanto para el estudio de peligros volcánicos como para investigaciones geotécnicas y de recursos energéticos.

Conclusión

Las ignimbritas representan algunos de los depósitos volcánicos más importantes para comprender los procesos eruptivos explosivos y la evolución de los sistemas magmáticos de la corteza terrestre. Su formación está relacionada con corrientes de densidad piroclástica capaces de transportar enormes volúmenes de material volcánico a altas velocidades y temperaturas. Las texturas, minerales y estructuras presentes en estas rocas permiten reconstruir la dinámica de antiguas erupciones y entender

mejor la interacción entre vulcanismo, tectónica y evolución cortical (Schmincke, 2004).

Además de su relevancia científica, las ignimbritas poseen una enorme importancia práctica debido a su relación con algunos de los peligros volcánicos más destructivos de la Tierra. Su estudio contribuye a la evaluación de riesgos, al desarrollo de sistemas de monitoreo y a la reconstrucción de eventos volcánicos y tectónicos regionales. En regiones como México, donde existen extensas provincias ignimbriticas, estas rocas continúan siendo esenciales para la investigación geológica y vulcanológica moderna.

Referencias

Branney, M. J., & Kokelaar, B. P. (2002). *Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites*. Geological Society of London.

Dickinson, W. R., & Lawton, T. F. (2001). Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 113(9), 1142–1160.

Fisher, R. V., & Schmincke, H. U. (1984). Pyroclastic fragments and deposits. In *Pyroclastic Rocks* (pp. 89–124). Springer.

Lowe, D. J., & Alloway, B. V. (2015). *Tephrochronology*.

Schmincke, H. U. (2004). *Volcanism* (Vol. 28). Springer Science & Business Media.

Self, S. (2015). Explosive super-eruptions and potential global impacts. In *Volcanic Hazards, Risks and Disasters* (pp. 399–418). Elsevier.

Sparks, R. S. J. (1976). Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows. *Sedimentology*, 23(2), 147–188.

Walker, G. P. (1983). Ignimbrite types and ignimbrite problems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17(1–4), 65–88.

María Fernanda Cerca Ruiz se graduó como Ingeniera Geóloga por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en 2020, titulándose por tesis. Posteriormente, obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en Geología Aplicada por la misma institución en 2022. Actualmente, cursa el doctorado en la UNAM, campus Juriquilla. Cuenta con experiencia en el estudio de flujos granulares volcánicos, su dinámica y reología, así como en vulcanismo monogenético y riesgos volcánicos. Ha participado en investigaciones de campo, análisis de imágenes, geofísica, petrología y cartografía.

Sumit Mishra trabajó como investigador postdoctoral en el Instituto de Geociencias de la UNAM. Sus áreas de especialización incluyen la geoquímica de rocas ígneas, la geocronología y la geología isotópica. Su investigación se ha enfocado en la diagénesis del carbón de la Cuenca de Sabinas y en los depósitos de manganeso en Autlán. Actualmente trabaja en el Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la Universidad Autónoma de Coahuila, Coahuila de Zaragoza, México.

Eduardo González Párida se graduó como Ingeniero Geólogo por la UNAM en 1977 y, en 1979, obtuvo el título de Ingeniero Experto en Exploración y Valorización de Recursos Naturales por la Escuela Nacional Superior de Geología de Nancy, Francia. Posteriormente, obtuvo los grados de Doctor Ingeniero en Materias Primas Minerales y Energéticos en 1981 y Doctor de Estado en Ciencias en 1985. Actualmente cuenta con 41 años de trayectoria docente y académica en la UNAM y es Investigador Nacional Nivel III en el SNI. En 2020–2021 fue cofundador y rector de la Universidad Politécnica de Nochistlán “Abraham Castellanos”. En su trayectoria científica y tecnológica cuenta con alrededor de 350 productos. En la formación de recursos humanos ha dirigido 86 tesis: 58 de licenciatura, 21 de maestría y 7 de doctorado. Sus áreas de especialización incluyen los yacimientos minerales y energéticos, particularmente en geotermia, carbón e hidrocarburos.

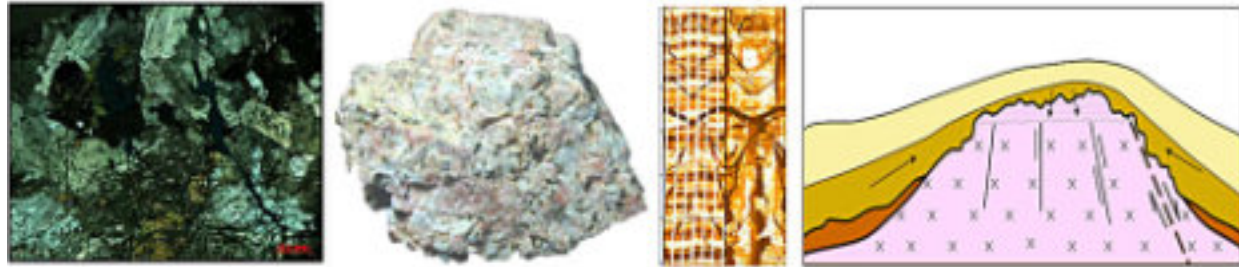
Dr. Alejandro Carrillo-Chávez es Ingeniero Geólogo por el Instituto Politécnico Nacional. Realizó la Maestría en la Universidad de Cincinnati y el Doctorado en la Universidad de Wyoming. Inició su trayectoria profesional en el Instituto Mexicano del Petróleo y posteriormente comenzó su vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingresó a la Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) de la UNAM, campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial se centró en la petrografía ígnea y metamórfica, y en el ámbito académico comenzó impartiendo cursos de petrología ígnea y metamórfica. Actualmente es tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM. Su maestría se enfocó en yacimientos minerales metálicos y su doctorado en geoquímica ambiental. Sus líneas de investigación incluyen metales pesados en el medio ambiente, hidroggeoquímica, geoquímica isotópica de metales pesados e hidroggeoquímica de salmueras petroleras. A la fecha, es responsable de un proyecto de la UNAM y de la SECIHTI sobre concentraciones de metales e isotopía estable de Zn y Hg en agua de lluvia, nieve y núcleos de hielo en glaciares mexicanos. Correo electrónico: ambiente@geociencias.unam.mx

Dr. Sanjeet K. Verma obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería por la UNAM en 2012. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Campinas entre 2012 y 2015. En 2015 ingresó al IPICYT, donde actualmente se desempeña como Investigador Titular C, es Jefe de la División de Geociencias Aplicadas y cuenta con el Nivel II del SNII. Sus líneas de investigación incluyen: i) geoquímica de rocas, ii) petrogénesis ígnea, iii) ambientes tectónicos y iv) geocronología. Es editor asociado de la revista *Geochemistry* y miembro del comité editorial de *Discover Geoscience*. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 2017 y fue galardonado con el Newton Advanced Fellowship de The Royal Society en 2016. Es autor de 70 publicaciones indexadas en JCR. Su producción científica acumula más de 1424 citas bibliográficas y cuenta con un índice H de 21. Es tutor del Posgrado en la DGA/IPICYT y ha supervisado 6 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 3 de doctorado.

YACIMIENTOS PETROLIFEROS DE BASAMENTO: ¿.....HASTA DONDE PERFORAR?

Jesús S. Porras M

Geólogo Consultor



RESUMEN

Los reservorios en el basamento ígneo-metamórfico constituyen uno de los sistemas petroleros más complejos y heterogéneos de la exploración. Aunque históricamente las rocas cristalinas fueron consideradas unidades no reservorio debido a su escasa porosidad primaria y muy baja permeabilidad matricial, numerosos descubrimientos alrededor del mundo demostraron que, bajo condiciones favorables, estas litologías pueden almacenar y producir volúmenes comerciales de hidrocarburos a través de sistemas de fracturas naturales conectadas.

La principal incertidumbre exploratoria en estos plays no es únicamente la presencia de hidrocarburos, sino definir hasta qué profundidad las fracturas conservan permeabilidad efectiva, conectividad hidráulica y saturaciones económicamente productivas. La respuesta depende de múltiples factores, entre ellos: régimen tectónico, distribución y orientación de fracturas, esfuerzos in situ, cementación mineral, comportamiento del acuífero y dinámica del contacto agua-petróleo.

El presente trabajo analiza los principales controles geológicos, estructurales y geomecánicos que determinan la profundidad productiva en reservorios de basamento, integrando ejemplos globales.

Se propone que el verdadero límite de perforación en reservorios de basamento no está controlado exclusivamente por la profundidad absoluta, sino por la persistencia de permeabilidad estructural efectiva y por la interacción entre fracturas productivas y sistemas acuíferos profundos.

INTRODUCCIÓN

Durante gran parte de la historia de la industria petrolera, el basamento cristalino fue interpretado como un límite geológico inferior carente de interés exploratorio. La baja porosidad primaria y la reducida permeabilidad de granitos, gneises y otras rocas cristalinas llevaron a considerar estas unidades como no reservorio. En los inicios de la industria petrolera, y en muchos casos aún en la actualidad, persistió la práctica de penetrar el basamento únicamente unos pocos metros, generalmente sin un criterio geológico o técnico claramente definido, con el propósito de generar una “cámara” que permitiera acondicionar y perfilar el fondo del pozo.

Sin embargo, el descubrimiento de importantes acumulaciones de hidrocarburos en sistemas fracturados de basamento modificó profundamente este paradigma. Actualmente, numerosos campos alrededor del mundo producen petróleo desde rocas ígneas o metamórficas fracturadas o meteorizadas. A la fecha, más de un centenar de campos de una treintena de países han producido de este tipo de reservorio (Guariguata y Ricahrdson, 1959; P'an, 1982; García et al., 2000, Koning, 2003; Sircar, 2004; Porras et al., 2007 a,b; Gutmanis, 2009; Cuong and Warren, 2009; Trice, 2014, Agüera et al. 2017, 2018, 2019; Holdsworth et al., 2019, Peacock and Banks, 2020; Koning, 2022).

Produce de diferentes rocas, entre las que se distinguen: cuarcitas, granitos, migmatitas, volcánicas (basaltos, andesitas e ignimbritas) y otras rocas metamórficas como gneises y pizarras. La productividad de estos sistemas no depende de la porosidad matricial convencional, sino del desarrollo de permeabilidad secundaria asociada a fracturas tectónicas, fallas, zonas de cizalla, corredores y zonas de daño de fallas, procesos de meteorización y alteración hidrotermal.

En consecuencia, la principal interrogante exploratoria no es únicamente si existe carga de hidrocarburos, sino establecer hasta qué profundidad las fracturas permanecen abiertas, conectadas y capaces de transmitir fluidos de manera económicamente viable.

La pregunta “¿hasta dónde perforar?” representa, por lo tanto, un problema multidisciplinario que requiere la integración de diversas disciplinas geológicas, como tectónica, geología estructural y geomecánica, junto con aspectos de ingeniería de yacimientos, incluyendo comportamiento de fluidos y petrofísica, además de factores económicos relacionados con costos operacionales, mercado y rentabilidad del proyecto.

NATURALEZA GEOLÓGICA Y CONTROLES DE LOS RESERVORIOS DE BASAMENTO

Los reservorios de basamento están constituidos por rocas ígneas y metamórficas, principalmente cuarcitas, granitos, granodioritas, gneises y volcánicas, que originalmente presentan muy baja porosidad y permeabilidad. Su capacidad para almacenar y producir hidrocarburos depende esencialmente del desarrollo de porosidad y permeabilidad secundaria generada por procesos como fracturación tectónica, cizallamiento, cataclasis, meteorización y alteración hidrotermal.

Entre estos mecanismos, el fracturamiento tectónico constituye el principal control de productividad, ya que genera espacios abiertos, conectividad hidráulica y rutas preferenciales para la migración de fluidos. Las mejores zonas reservorio suelen localizarse en corredores de falla, zonas de daño tectónico, zonas de deformación y extensión local e intersección de fallas y fracturas.

La productividad del basamento está controlada fundamentalmente por:

- densidad y apertura de fracturas;
- conectividad hidráulica;
- orientación respecto al campo de esfuerzos;
- persistencia lateral y vertical de los sistemas fracturados.

Las fracturas favorablemente orientadas pueden mantenerse abiertas incluso a grandes profundidades, mientras otras se sellan por compactación y cementación mineral. Asimismo, las grandes fallas regionales generan zonas de intensa deformación caracterizadas por

brechamiento, microfracturamiento y aumento de permeabilidad secundaria, concentrando frecuentemente las mayores productividades.

Con el incremento de profundidad, el aumento del esfuerzo litostático favorece el cierre progresivo de fracturas y la disminución de permeabilidad. A ello se suma la precipitación de minerales como cuarzo, calcita y clorita, que reducen la conectividad y la movilidad de fluidos. No obstante, en determinados contextos tectónicos, procesos de reactivación estructural, sobrepresión y alteración hidrotermal pueden mantener fracturas abiertas y permeables a profundidades superiores a 5 km, permitiendo la existencia de producción comercial en sistemas de basamento profundo.

CASOS HISTÓRICOS DE DESCUBRIMIENTOS Y PRODUCCIÓN EN BASAMENTO

Los reservorios ígneo-metamórficos pasaron de ser considerados simples unidades geológicas sin interés económico a convertirse en importantes objetivos exploratorios gracias a numerosos descubrimientos realizados en distintas cuencas del mundo. Muchos de estos hallazgos ocurrieron durante la profundización de pozos apuntados inicialmente a reservorios clásticos o carbonáticos.

Existen numerosos casos a escala mundial donde el potencial petrolero del basamento fue reconocido décadas después del descubrimiento original de los campos sedimentarios suprayacentes por lo que las perforaciones exploratorias no deberían limitarse simplemente a “tocar” el tope del basamento, ya que esta práctica impide una evaluación integral del reservorio y puede conducir a que descubrimientos significativos permanezcan inadvertidos.

La incorporación de nuevas tecnologías y modelos geológicos permitió reconocer que la productividad de estos sistemas está controlada principalmente por fracturas abiertas y zonas de falla. Los casos históricos de Venezuela, Vietnam, Egipto, Indonesia y Argentina, entre muchos otros, demuestran el potencial comercial de los reservorios de basamento fracturado y la importancia de su adecuada evaluación exploratoria.

La Paz-Mara (Venezuela)

Uno de los ejemplos más representativos es el gigantesco Campo La Paz, en la Cuenca de Maracaibo, descubierto en

1923 y originalmente productor de reservorios carbonáticos cretácicos. Aproximadamente tres décadas después de su descubrimiento, en 1953, la reinterpretación del comportamiento productivo y reevaluación de las reservas cretácicas del campo sugirió la existencia de aporte proveniente de niveles más profundos, lo que motivó la perforación del basamento subyacente. Estas perforaciones condujeron al descubrimiento del más importante reservorio de basamento fracturado de la época, marcando uno de los hitos más relevantes en la exploración petrolera de rocas cristalinas a nivel mundial.

Posteriormente, y apoyados en el éxito obtenido en La Paz, a fines de 1953, se profundizaron exitosamente pozos en el Campo Mara, confirmando el elevado potencial petrolero del basamento cristalino en la región. Como resultado, los campos Mara-La Paz llegaron a constituirse entre los yacimientos productores en basamento más prolíficos y emblemáticos del mundo. Entre ambos acumulan más de 375 MMbbls de petróleo.

García et al. (2000) indican que el basamento de La Paz presenta escasa o nula porosidad matricial, por lo que su capacidad de almacenamiento y flujo depende fundamentalmente del desarrollo de fracturas tectónicas y que está compuesto por rocas ígneas y metamórficas afectadas por múltiples eventos tectónicos, metamórficos e hidrotermales precretácicos, lo que generó una compleja distribución litológica y un intenso fracturamiento. La interpretación de registros modernos y observaciones de núcleos evidencia alternancias de litologías y numerosos contactos tectónicos asociados a fallas, responsables de la alta heterogeneidad estructural del sistema. Las rocas ígneas constituyen la mayor parte del reservorio, mientras que las metamórficas, menos propensas al fracturamiento, suelen concentrarse hacia la parte superior del basamento. También mencionan que el fracturamiento controla la permeabilidad y productividad, aunque también puede originar barreras hidráulicas y compartimentalización del yacimiento. La integración de datos sísmicos, estructurales y de pozos permitió desarrollar modelos de reservorio orientados a comprender la distribución de fracturas y su impacto en la producción

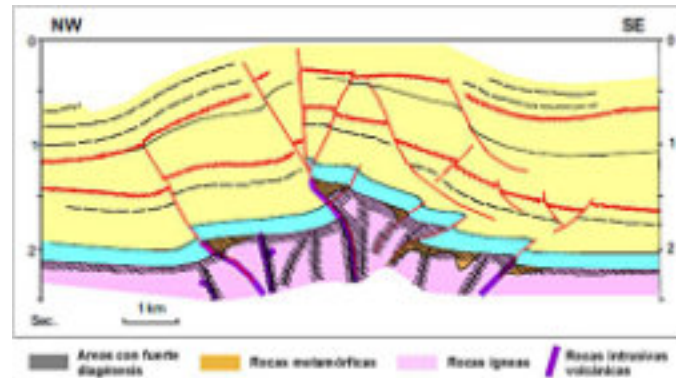


Figura 1. Modelo conceptual del basamento fracturado del Campo La Paz donde fallas y variaciones litológicas entre rocas ígneas y metamórficas controlan la permeabilidad, la compartimentalización y la conectividad hidráulica. La intensa fracturación puede generar tanto corredores preferenciales de flujo como barreras hidráulicas dentro del reservorio (modificado de García et al., 2000).

La Concepción (Venezuela)

Aunque la perforación del basamento fue una práctica relativamente frecuente desde las primeras etapas de desarrollo del área, donde cerca del 60 % de los pozos profundos perforados con objetivos cretácicos alcanzaron el basamento, en la mayoría de los casos la penetración fue limitada y realizada principalmente con fines operacionales o de control estratigráfico, más que como parte de una evaluación sistemática de su potencial petrolero (Porrás et al., 2007).

Las estadísticas de perforación indican que aproximadamente el 75 % de estos pozos penetraron más de 100 pies dentro del basamento, mientras que diez alcanzaron intervalos entre 500 y 1.000 pies. El mayor espesor perforado correspondió a un pozo que penetró cerca de 1.440 pies dentro del basamento cristalino (Porrás et al., 2007).

A finales del año 2003, luego de encontrar improductiva la sección cretácica, objetivo original de la perforación y tras perforar 439 pies dentro del basamento, se descubre fortuitamente, el primer pozo con producción comercial en este nuevo play del campo. Completado posteriormente con una producción inicial cercana a 4.800 barriles por día de crudo de 36° API, el pozo alcanzó una penetración total de aproximadamente 1.200 pies dentro del basamento.

De manera similar, otros tres pozos productores del campo interceptaron intervalos fracturados y productivos a

profundidades de 250, 50 y 180 pies bajo el tope cristalino, demostrando que las zonas productivas y con mejor permeabilidad pueden desarrollarse a distintas profundidades dentro del basamento.

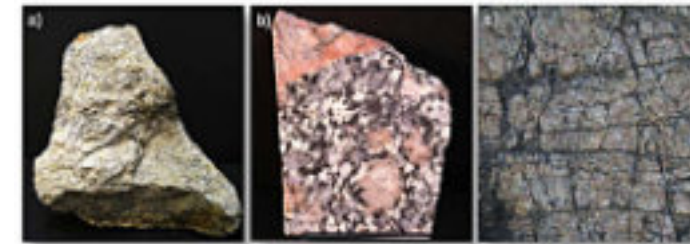


Figura 2. Características macroscópicas del basamento productor en los campos Mara-La Paz (a,b) y La Concepción (c), en el occidente de Venezuela. Se distinguen dos tipos principales de rocas; gneises y granodioritas y fracturación masiva de la roca granítica.

Campo Octógono (Argentina)

Un caso similar ocurrió en el campo Octógono, en la Cuenca Neuquina. Descubierta en 1918, el campo produjo durante décadas desde reservorios sedimentarios someros (Lajas y Challacó) que cubrían el alto de basamento. No fue sino casi un siglo después, entre 2009-2010, cuando, por la producción marginal de los reservorios tradicionales, se decidió perforar y evaluar el basamento cristalino subyacente, identificándose acumulaciones de petróleo en granitos fracturados y alterados. Desde entonces, la producción del basamento revitalizó el campo, históricamente maduro, alcanzando alrededor de 3.000 barriles diarios en 2015 y prolongando significativamente su vida productiva (Velo et al., 2014; Koning, 2022).

Campo Guanaco (Argentina)

En la Cuenca Neuquina, el interés por los reservorios de basamento fracturado resurgió a comienzos de la década de 2000 debido a la declinación de los yacimientos convencionales y al aumento de la demanda de gas. En este contexto, Apache desarrolló el proyecto “Deep Gas”, destacándose el campo Guanaco como uno de los descubrimientos más importantes (Sisinni et al., 2011 a,b).

El pozo pionero AC.x-2001, perforado en 1999, descubrió una granodiorita fracturada con muy baja porosidad matricial, donde la productividad dependía exclusivamente de sistemas de fracturas abiertas. Inicialmente, la exploración se enfocó en altos estructurales someros y evitó perforar por debajo del spill

point. Sin embargo, el desarrollo posterior del campo y la perforación de más de 15 pozos permitieron redefinir el modelo geológico.

Los nuevos resultados demostraron que los mejores intervalos productivos estaban asociados a zonas de falla y fracturas profundas identificadas mediante sísmica 3D y atributos sísmicos. Algunos pozos perforaron más de 1.300 m dentro del basamento sin encontrar contacto agua-gas, alcanzando profundidades cercanas a 3.700 m y permitiendo incrementar significativamente las reservas y la productividad del campo. Los pozos producen un promedio de 90 Mm³ /d de gas seco.

El campo Guanaco evidenció además las principales dificultades de estos reservorios: fuerte heterogeneidad estructural, compleja evaluación petrofísica y baja porosidad efectiva, demostrando que la productividad en el basamento depende principalmente de la conectividad de fracturas y corredores tectónicos activos.

Campo Medanita-25 de Mayo (Argentina)

Las rocas volcánicas extrusivas, fueron consideradas en los primeros pozos de la cuenca neuquina como el “basamento económico” o zona sin interés desde el punto de vista productivo en esta región, y por lo tanto el límite de la perforación de los pozos. No obstante, en algunos pozos se observaron rastros frescos de petróleo y se decidió punzar estos niveles. Luego de comprobarse intervalos productivos en esta unidad, comenzaron a ser considerados objetivo secundario en la perforación y terminación de muchos de los pozos de este yacimiento, y actualmente objetivo principal de por lo menos la mitad de los pozos de las últimas campañas anuales.

El descubrimiento del campo se remonta a la década de 1960, cuando YPF desarrolló actividades exploratorias en la región de Medanita, en el noreste de la Cuenca Neuquina, con el objetivo de explorar trampas estratigráficas asociadas a la Formación Tordillo. En estas perforaciones se reconocieron rocas volcánicas coloreadas denominadas inicialmente “Serie Porfírica”, donde se observaron impregnaciones de hidrocarburos. En 1968, estas unidades fueron reinterpretadas como parte del Grupo Choiyoi de edad triásica, destacándose la presencia de hidrocarburos en las Tobas Barda Alta. Estudios posteriores identificaron que la productividad de estos reservorios estaba controlada principalmente por sistemas

de fracturas y procesos de alteración meteórica (Barrionuevo, 2015).

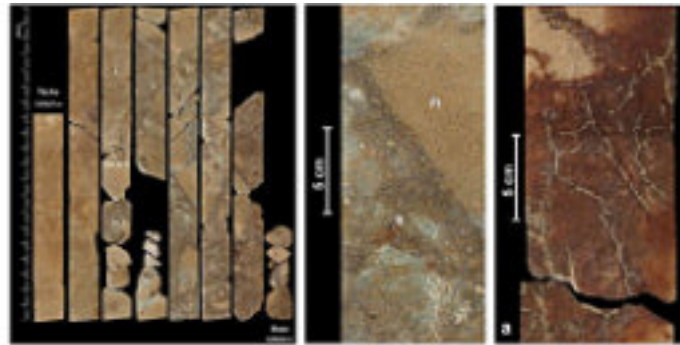


Figura 3. a) Ignimbritas reomórficas del Grupo Choiyoi, principal productor de basamento de la Cuenca Neuquina b) detalle del núcleo y c) sección delgada mostrando patrón de fractura en reticulado

Con el desarrollo de la sísmica y las imágenes de pozo, se confirmó el carácter fracturado de estos reservorios y se determinó que predominaban ignimbritas riolíticas asociadas al relleno de hemigrábenes precuianos. Estos trabajos consolidaron el concepto de reservorios volcánicos fracturados como un importante play no convencional en la cuenca.

Cuenca Austral-Magallanes (Argentina/Chile)

Históricamente, la Serie Tobífera fue considerada el “basamento económico” de la Cuenca Austral-Magallanes, ya que durante gran parte de la exploración y desarrollo no se la consideraba un reservorio de interés hidrocarburífero (Hinterwimmer, 2002; Sruoga et al., 2004; Sruoga y Rubinstein, 2007). Debido a la aparente naturaleza errática e impredecible de sus propiedades como reservorio, la unidad era vista únicamente como un objetivo secundario o upside exploratorio. En la mayoría de los pozos apenas se perforaban entre 20 y 30 metros dentro de la unidad, principalmente para confirmar su presencia y permitir el perfilaje completo de la Formación Springhill, principal reservorio de la cuenca.

Sin embargo, manifestaciones de hidrocarburos y posteriores producciones obtenidas en varios pozos perforados desde la década de 1970 en Argentina y Chile comenzaron a revelar el potencial petrolero de estas rocas volcánicas y volcanoclásticas jurásicas. A partir de entonces, la Serie Tobífera empezó a ser evaluada con mayor

atención, desarrollándose numerosos estudios orientados a comprender los procesos responsables de la generación de porosidad y permeabilidad, tanto primaria como secundaria.

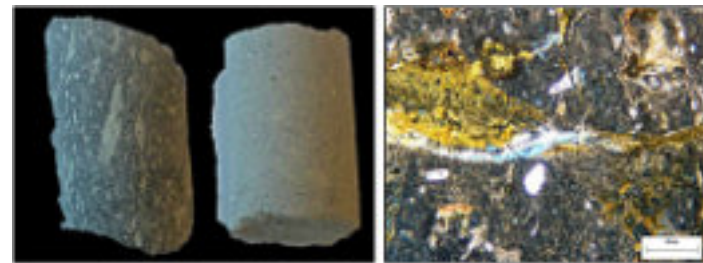


Figura 4. Aspecto general de la Serie Tobífera en muestras de pared (izq) y sección delgada mostrando microfisuras ocluidas conformando microbrechas (der)

Durante las últimas dos décadas, múltiples descubrimientos confirmaron su importancia como reservorio no convencional fracturado, transformándola en un objetivo exploratorio relevante en gran parte de los prospectos de la cuenca. En Argentina, la unidad produce hidrocarburos en campos como Océano, Campo Bremen, Estancia Dos Lagunas, Laguna El Palo, La Paz, Filomena, Chorrillos Viejo, El Indio, El Mosquito y Punta Loyola, mientras que en Chile existen acumulaciones productivas en campos como Gaviota, Gaviota Norte y Flamenco. Asimismo, el pozo Lago Mercedes #1 demostró el potencial petrolero de reservorios fracturados asociados tanto a rocas volcanoclásticas de la Serie Tobífera como a intrusivos granodioríticos prerift en la Cuenca de Magallanes (Dean et al., 1993), demostrando además que el basamento granítico también puede constituir un reservorio productivo en la región.

Uno de los descubrimientos argentinos más relevantes fue el campo Estancia Dos Lagunas, descubierto en 1999 con la perforación del pozo EDL.x-1. El objetivo original era explorar un alto estructural y evaluar el potencial hidrocarburífero de las areniscas de la Formación Springhill y de las rocas ígneas de la Serie Tobífera. Inicialmente, el pozo produjo gas en la Formación Springhill; posteriormente, nuevas perforaciones confirmaron también la presencia de hidrocarburos en las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Serie Tobífera. Tras la confirmación del play, el desarrollo del campo continuó con la perforación de trece pozos adicionales, de los cuales la mayoría registró producción comercial de gas y condensado. (Hinterwimmer, 2002; Venara et al., 2009)

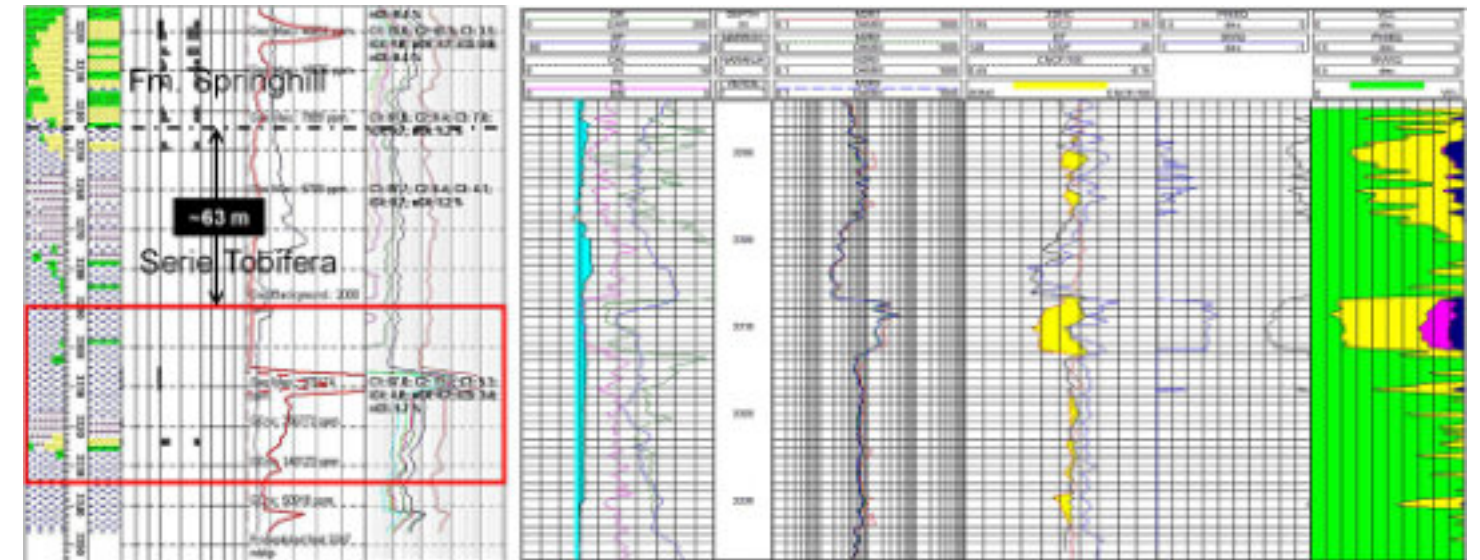


Figura 5. Registro de mudlogging de un pozo de la Cuenca Austral mostrando aporte de gas durante la perforación de la Serie Tobífera, 63 metros por debajo del tope (izq.) e interpretación petrofísica del tramo productivo (der.)

En la Cuenca de Magallanes, especialmente en el hemigraben Gaviota, se descubrieron reservorios naturalmente fracturados asociados a rocas volcánicas riolíticas de la Serie Tobífera, inicialmente consideradas parte del basamento sin interés petrolero. Muchos de estos hallazgos ocurrieron durante la exploración de la Formación Springhill y dieron origen, desde finales de los años 80, a estudios sistemáticos sobre reservorios volcánicos fracturados. La evolución del modelo exploratorio permitió reconocer que la productividad está controlada principalmente por la presencia de litologías frágiles y sistemas de fracturas tectónicas abiertas (Bravo y Herrero, 1997)

Chirete-Los Blancos (Argentina)

El descubrimiento de este campo en la Subcuenca de Olmedo, se originó a partir de los resultados obtenidos en el pozo exploratorio Los Blancos x-1001, el cual aportó 123 m³ de petróleo durante maniobras de abandono, por colapso del pozo y aprisionamiento de la sarta de perforación, tras una severa pérdida de circulación durante la perforación (Agüera et al., 2017, 2019).

Perforando rocas cuarcíticas extremadamente duras y abrasivas en el intervalo 2805-2809 m, que obligaron al reemplazo de dos trépanos en apenas 27 m perforados, se produjo una pérdida severa de circulación del orden de 200 m³, que ocasionó el colapso del hoyo y el aprisionamiento de la herramienta. Durante las operaciones finales de abandono se observó un

desplazamiento espontáneo de fluidos por el interior de la tubería, registrándose una producción cercana a 124 m³ de petróleo en aproximadamente 2,5 horas (Agüera et al., 2017, 2019).

Estos resultados motivaron la perforación de un segundo pozo con el objetivo de evaluar de manera más detallada el potencial petrolero del alto paleogeomórfico, reconocido solo parcialmente por el pozo pionero. Este segundo pozo no solo confirmó el potencial productivo del sistema fracturado, sino que además reveló la existencia de un nuevo play y de un sistema petrolero previamente no reconocido en la cuenca. El hallazgo representó, asimismo, el primer descubrimiento de hidrocarburos en rocas ordovícicas en Argentina (Agüera et al., 2017, 2019).

Indonesia

Un ejemplo interesante es el campo gasífero Suban, en Sumatra del Sur, Indonesia, el cual no fue descubierto durante las campañas exploratorias desarrolladas por Caltex (Chevron-Texaco) en la década de 1980, debido a que los pozos atravesaban la sección sedimentaria y apenas penetraban algunos metros dentro del basamento. Posteriormente, en 1999, Gulf Canada y Talisman Energy descubrieron el gigantesco reservorio de gas en basamento, estimado entre 5 y 7 TCF, al perforar profundamente dentro del sistema fracturado del basamento cristalino.

Cuenca de Cuu Long, Vietnam

Vietnam constituye uno de los casos más exitosos a nivel mundial de producción de hidrocarburos en reservorios de granito fracturado especialmente la cuenca offshore de Cuu Long, al sureste del país, donde importantes acumulaciones de petróleo fueron descubiertas y desarrolladas en rocas de basamento cristalino intensamente fracturadas. Durante muchos años, las rocas graníticas del basamento fueron consideradas simplemente el “basamento económico” de la cuenca; sin embargo, los descubrimientos realizados a partir del campo Bach Ho Field (“White Tiger”) transformaron radicalmente este concepto y demostraron el enorme potencial petrolero de los reservorios ígneos fracturados. El campo Bach Ho fue descubierto inicialmente en 1975, aunque su desarrollo efectivo comenzó a mediados de la década de 1980. La producción proviene principalmente de granitos y granodioritas fracturadas del basamento mesozoico, donde la productividad está controlada por extensos sistemas de fallas y zonas de daño tectónico.

En este campo, la porosidad de la matriz es muy baja, pero la intensa red de fracturas abiertas genera suficiente permeabilidad para sostener producción comercial de gran magnitud. Algunos pozos llegaron a producir entre 2.000 y 15.000 barriles diarios de petróleo. Los estudios sísmicos, registros de imágenes FMI y análisis de núcleos demostraron que la calidad reservorio está fuertemente asociada a sistemas de fracturas desarrollados durante eventos tectónicos transpresivos del Oligoceno tardío. Asimismo, se reconoció que las zonas de falla y sus “zonas de daño” incrementan significativamente la porosidad secundaria y la conectividad hidráulica.

El éxito exploratorio de Bach Ho impulsó posteriormente el descubrimiento y desarrollo de otros importantes campos de basamento fracturado en la cuenca, como Rong, Rang Dong, Ruby y Su Tu Den, consolidando a la Cuenca Cuu Long como uno de los ejemplos más importantes del mundo de producción comercial desde reservorios graníticos fracturados. En la actualidad, gran parte de la producción petrolera de Vietnam proviene precisamente de este tipo de plays no convencionales asociados al basamento cristalino.

Campos como Bach Ho producen desde: granitos fracturados; zonas alteradas; corredores tectónicos profundos. Las fracturas permanecen abiertas a profundidades superiores a 4–5 km gracias a: tectónica

extensional, intensa fracturación y reactivación estructural.

...DEL LÍMITE GEOLÓGICO AL OBJETIVO EXPLORATORIO

Estos ejemplos demuestran que muchos descubrimientos en basamento no fueron inicialmente reconocidos debido a paradigmas exploratorios tradicionales que consideraban el basamento únicamente como límite geológico inferior y no como objetivo. En numerosos casos, los pozos fueron diseñados exclusivamente para evaluar los reservorios sedimentarios suprayacentes, penetrando apenas algunos metros el basamento con fines operacionales o de correlación estratigráfica. Como consecuencia, importantes sistemas fracturados y meteorizados quedaron sin evaluar.

La experiencia global indica que el éxito exploratorio en reservorios ígneo-metamórficos depende de comprender que: el basamento puede contener columnas productivas de gran espesor; las fracturas abiertas pueden desarrollarse decenas o cientos de metros por debajo del tope cristalino; el tope del basamento no siempre representa la mejor calidad reservorio; algunas zonas someras pueden estar cementadas, mientras fracturas más profundas permanecen abiertas y productivas.

Por ello, los programas exploratorios modernos deben considerar perforaciones suficientemente profundas dentro del basamento, integrando: sísmica 3D de alta resolución; análisis estructural; modelado geomecánico; caracterización de fracturas; evaluación petrofísica avanzada.

En consecuencia, la principal razón por la cual muchos descubrimientos tardíos ocurrieron en reservorios de basamento radica en que históricamente el basamento no era considerado un objetivo exploratorio primario. La perforación limitada al “tope de basamento” impidió reconocer sistemas fracturados profundos capaces de almacenar y producir hidrocarburos comercialmente. Estos casos evidencian que, en numerosos campos maduros desarrollados sobre altos de basamento, todavía puede existir un importante potencial remanente asociado a reservorios fracturados subyacentes

¿HASTA DÓNDE PERFORAR?

La profundidad óptima de perforación en reservorios de basamento no depende exclusivamente de la presencia de

roca fracturada, sino de la persistencia de permeabilidad estructural efectiva y de saturaciones económicamente favorables como los primeros elementos a considerar.

Islan et al. (2018) mencionan que los intervalos saturados de hidrocarburos no se localizan necesariamente inmediatamente debajo del tope del basamento. En los campos Campo La Paz y Campo Mara, en el occidente de Venezuela, el petróleo fue descubierto entre 18 y 20 m por debajo del tope, mientras que en el campo Oimasha, en Kazajistán, los hidrocarburos aparecieron a unos 140 m bajo el techo del basamento. Indican además que existen ejemplos de ocurrencia de hidrocarburos a profundidades extremas. En el Escudo Báltico, el pozo Gravberg-1, en Suecia, encontró petróleo y gas metano no comercial en rocas ígneas precámbricas a unos 6.800 m de profundidad. Estos ejemplos demuestran que la presencia de fracturas abiertas y permeables puede persistir a profundidades mucho mayores de las tradicionalmente consideradas.

Koning (2013) señala que los pozos de desarrollo en reservorios de basamento deben perforarse con suficiente profundidad para lograr un drenaje efectivo del reservorio, evitando limitarse únicamente a “tocar” el tope del basamento. El autor destaca que una penetración somera puede conducir a una evaluación incompleta del sistema fracturado y dejar intervalos productivos sin descubrir. Como ejemplo, menciona el caso del campo La Paz, en la Cuenca de Maracaibo, donde los pozos eran perforados típicamente unos 500 metros dentro del basamento

granítico con el fin de interceptar adecuadamente las zonas fracturadas y maximizar el drenaje del reservorio.

Durante las primeras etapas de desarrollo de los campos Mara y La Paz, en la Cuenca de Maracaibo, los pozos fueron perforados con penetraciones promedio cercanas a 500 metros dentro del basamento fracturado (Chung-Hsiang P’an, 1982). Esta estrategia permitió interceptar sistemas de fracturas más profundos y mejorar el drenaje del reservorio. Las tasas iniciales de producción alcanzaron valores máximos del orden de 11.500 barriles de petróleo por día (BPPD), mientras que la producción inicial promedio se situó alrededor de 3.600 BPPD, confirmando el elevado potencial productivo de estos reservorios de basamento.

García et al. (2000) mencionan que entre los ~50 pozos de este campo que han alcanzado el basamento, alrededor de 10 han sido perforados con un espesor bastante significativo.

Guariguata y Richardson (1959), basado en datos estadísticos al 31/03/1959, sobre 65 pozos de los campos La Paz-Mara, señalan que los pozos penetraron entre 350 y 4502 pies dentro del basamento, 28 de ellos en un rango entre 350 y 1000 pies y nueve pozos superan los 3000 metros. Indican, además, que los pozos producen de profundidades tan variables como 2 y 488 pies por debajo del tope del basamento.



Figura 6. Relación entre la profundidad del tope de basamento, la profundidad total perforada y la penetración dentro del basamento para 65 pozos del campo La Paz-Mara. El gráfico evidencia una importante variabilidad en los espesores perforados dentro del reservorio cristalino, demostrando que numerosos pozos atravesaron varios cientos de pies de basamento en la búsqueda de intervalos fracturados y productivos.

Empleando datos recopilados por Guariguata y Richardson (1959) de siete pozos productivos de los campos de La Paz y Mara, se observa que penetraron basamento en un rango

entre 355 y 3087 pies y que el intervalo abierto a producción varía entre 309 y 2970 pies, desde apenas 2 pies del tope hasta 482 pies por debajo de éste.

Tabla 1. Rangos de penetración dentro de basamento de pozos productores del campo La Paz-Mara (Fuente: Guariguata & Richardson, 1959).

Pozo #	Basamento			Intervalo Abierto			PIES debajo d/tope	% abierto Bsmto
	Tope	Base	Espesor	Tope	Base	Total		
1	6471	8499	2028	6539	8499	1960	68	97
2	6397	9484	3087	6442	9412	2970	45	96
3	7800	8889	1089	7802	8661	859	2	79
4	8271	11025	2754	8753	10387	1634	482	59
5	10610	11286	676	10660	11081	421	50	62
6	9110	9465	355	9156	9465	309	46	87
7	9586	10675	1089	9695	10675	980	109	90

La figura 7 ilustra que gran parte de la producción proviene de secciones perforadas varios cientos de pies dentro del basamento cristalino, confirmando que las zonas fracturadas y permeables no se restringen únicamente al tope del reservorio. Asimismo, se observa una considerable variabilidad en la profundidad de penetración y en el porcentaje de intervalo productivo asociado al sistema de fracturas.

Porras et al. (2007) indican que en el campo La Concepción, en un contexto tectónico y estratigráfico similar a los campos La Paz-Mara, ubicados a escasos 40 km, las zonas productivas de basamento se encontraron entre 15 y 140 metros del tope. A las profundidades señaladas se observaron incrementos abruptos de las unidades de gas durante la perforación.

La figura 8 muestra una sección esquemática con los cuatro pozos productivos del basamento ígneo-metamórfico naturalmente fracturado en el campo La Concepción, Cuenca de Maracaibo, donde se ilustra la distribución vertical de intervalos permeables y zonas de menor permeabilidad dentro del basamento cristalino. La sección pone de manifiesto la marcada heterogeneidad del sistema de fracturas y el desarrollo de niveles productivos a distintas profundidades por debajo del tope de basamento. El notable incremento del gas total indica las zonas permeables del reservorio.

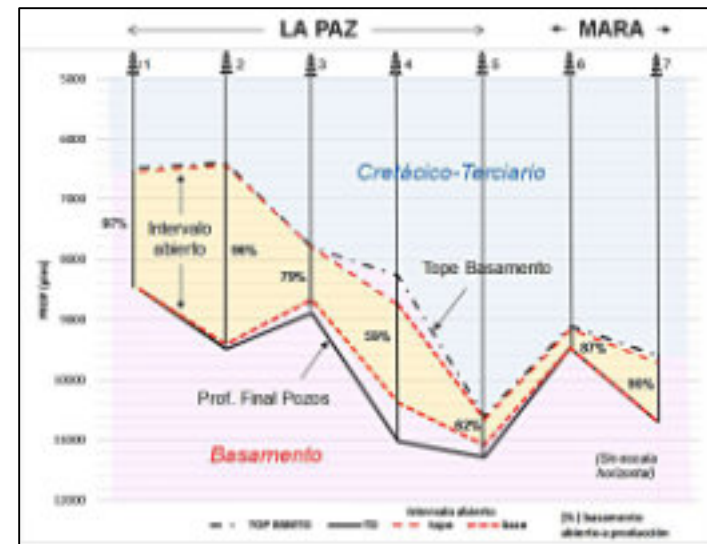


Figura 7. Relación entre el tope de basamento, la profundidad final de perforación y el intervalo abierto a producción dentro del reservorio fracturado en siete pozos de los campos La Paz y Mara. El esquema muestra que una proporción significativa del intervalo perforado dentro del basamento permaneció abierta a producción. Los datos evidencian una marcada variabilidad tanto en la profundidad de penetración dentro del basamento como en la proporción de intervalo productivo asociado a fracturas abiertas (datos de Guariguata & Richardson, 1959)

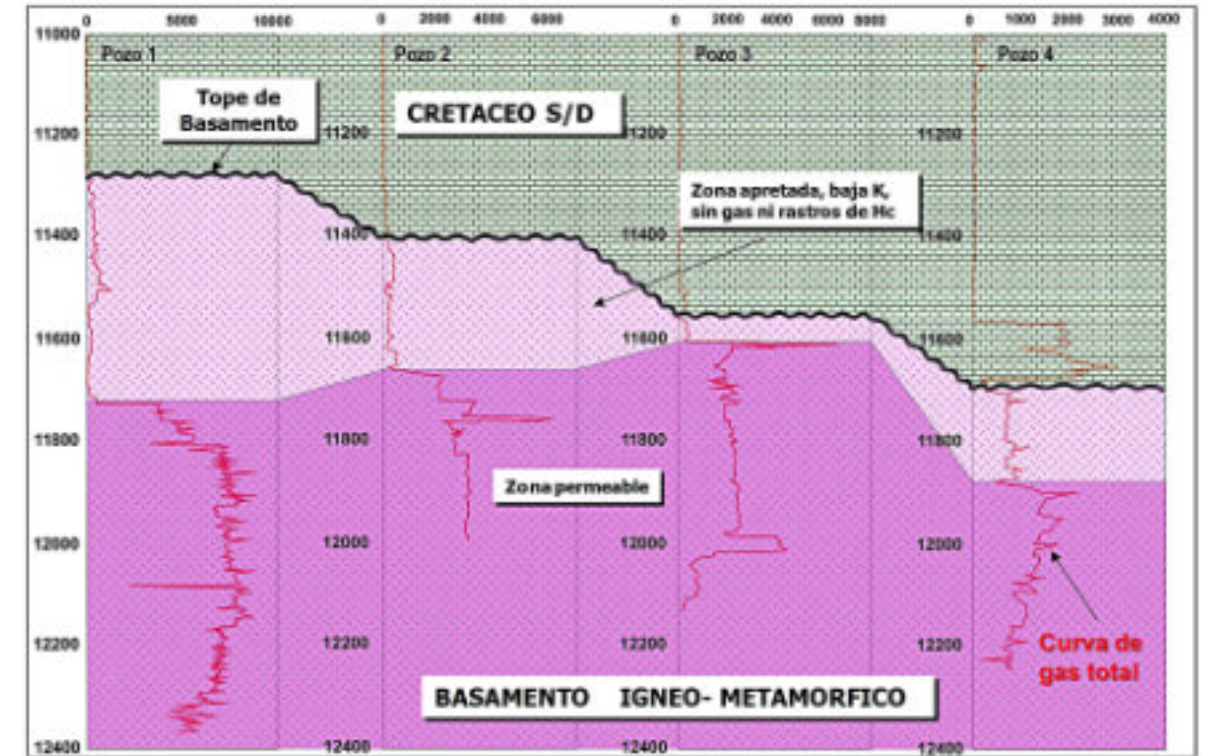


Figura 8. Sección geológica esquemática del reservorio ígneo-metamórfico fracturado en el campo La Concepción, Cuenca de Maracaibo, mostrando la distribución vertical de zonas permeables y sectores de baja permeabilidad dentro del basamento. La figura evidencia la heterogeneidad del sistema fracturado y la presencia de intervalos productivos desarrollados a diferentes profundidades bajo el tope del basamento cristalino. Las curvas de gas total sugieren la asociación entre fracturamiento abierto y permeabilidad efectiva dentro del reservorio (modificado de Porras et al., 2007)

Aguilera (1996) sugiere perforar por lo menos 300 metros dentro de basamento especialmente si la cobertura sedimentaria contiene petróleo. Estima que los reservorios fracturados contienen significantes volúmenes de hidrocarburos no descubiertos que se han perdido debido a la imposibilidad de intersectar los principales sistemas de fallas.

En Argentina, los reservorios de la Serie Tobífera, se localizan tanto a niveles superiores, 20-30 metros, de la formación hasta 120 metros por debajo del tope (Hinterwimmer, 2002).

Sisinni et al. (2011), en el marco del proyecto conjunto de gas Precuyano-Basamento, indican que la perforación a mayores profundidades contribuye a incrementar la producción y las reservas. Asimismo, determinaron que los niveles del basamento constituyen los mejores intervalos productores, concentrándose la mayor parte de la producción en espesores relativamente delgados.

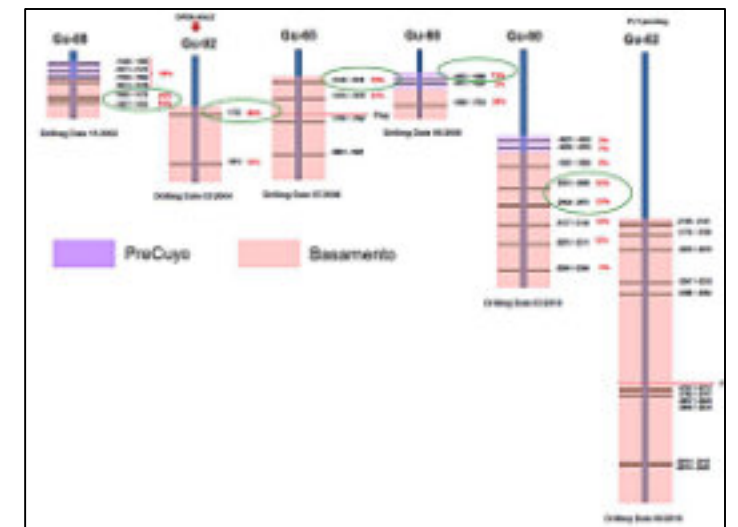


Figura 9. Intervalos productivos del Precuyano y el basamento fracturado en varios pozos del campo Guanaco. Se destacan la profundidad e intervalos abiertos y con mayor aporte de producción (modif. de Sisinni et al., 2011).

Según Gutmanis (2009), la distribución de los intervalos productivos en reservorios de basamento de Yemen evidencia que la productividad no se restringe únicamente al tope del basamento meteorizado, sino que puede extenderse varios cientos de metros por debajo de éste, especialmente en sectores afectados por fallamiento y fracturamiento tectónico. El autor destaca que los mejores resultados productivos se asocian preferentemente a basamentos graníticos fracturados y a intervalos localizados próximos a fallas sísmicamente resolubles, mientras que los basamentos conformados por rocas metamórficas muestran, en general, menor productividad.

Asimismo, demuestra la alta variabilidad vertical de los intervalos productores y resalta la importancia de profundizar adecuadamente la perforación para interceptar corredores de fracturas permeables dentro del basamento.

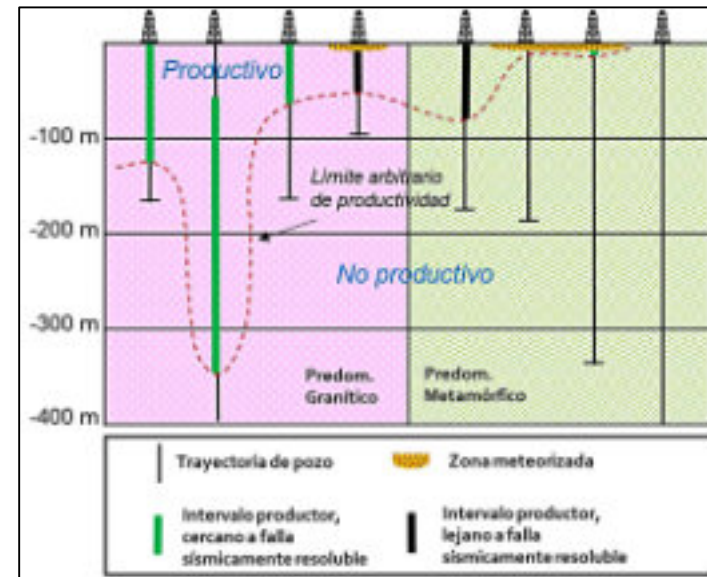


Figura 10. Distribución de intervalos productivos en 8 pozos de basamento en Yemen, mostrando la profundidad de los intervalos productores respecto al tope del basamento y su relación con la litología y estructuras mayores. Los intervalos productivos asociados a fallas sísmicamente resolubles se concentran principalmente en basamentos graníticos, mientras que los basamentos metamórficos presentan menor desarrollo productivo. La figura también ilustra la variabilidad de penetración de los pozos, la presencia o ausencia de zonas meteorizadas y la localización de intervalos no productivos (adaptado y modificado de Gutmanis, 2009)

En la cuenca de Cuu Long en Vietnam, las fracturas permanecen abiertas a profundidades superiores a 4-5 km

gracias a una intensa fracturación, producto de la tectónica extensional y reactivación estructural.

De acuerdo a estas experiencias y muchas otras consideraciones, la decisión debe integrar: geología estructural, geomecánica, comportamiento dinámico del acuífero, petrofísica y economía del proyecto. Gutmanis (2009) menciona que las litologías homogéneas, historia de deformación, reactivación de fracturas, la alteración hidrotermal o actividad meteórica y esfuerzos in situ son los principales controles de la calidad de reservorios del basamento

Criterio estructural

En reservorios de este tipo, el criterio estructural constituye uno de los principales factores para definir hasta dónde profundizar la perforación. La continuidad de fracturas abiertas, corredores tectónicos activos y zonas intensamente deformadas suele indicar la persistencia de permeabilidad secundaria y conectividad hidráulica favorable para la acumulación y producción de hidrocarburos. Asimismo, eventos de pérdidas de circulación durante la perforación pueden representar indicadores indirectos de fracturamiento abierto y alta capacidad de flujo. Por ello, mientras se mantengan evidencias estructurales favorables, como fracturas permeables, zonas de falla o manifestaciones de conectividad hidráulica, la profundización del pozo puede seguir siendo técnicamente justificada desde el punto de vista exploratorio y productivo.

El análisis estructural de pozos del campo La Paz evidencia un basamento intensamente fracturado, con zonas de fracturamiento difuso y enjambres de fracturas de alta densidad (fracture swarms) posiblemente asociados a fallas subsísmicas. Estas estructuras, constituyen los principales conductos de flujo y controlan significativamente la productividad del reservorio (García et al., 2000). La mayoría de los pozos con mejor producción están asociados a fallas que cortan o pasan muy próximas a la sección reservorio.

Criterio petrofísico

La decisión de continuar perforando en reservorios de basamento también depende de la evaluación petrofísica de los intervalos atravesados. Entre las herramientas más importantes se incluyen la caracterización litológica, los registros de imágenes de pozo (FMI/FMS), resistividad,

registros sínicos, PLT's y pruebas de formación tipo DST. Estas herramientas permiten identificar zonas fracturadas, determinar la apertura y conectividad de las fracturas, reconocer intervalos con presencia de hidrocarburos y evaluar la calidad hidráulica del reservorio.

En particular, las imágenes de pozo, PLT's y las pruebas DST son fundamentales para diferenciar fracturas abiertas y productivas de aquellas selladas o sin conectividad efectiva. Gutmanis (2009) encontró una correlación entre litología y productividad, de allí, la importancia de una buena caracterización petrofísica.

García et al. (2000) reconocen dos tipos de rocas en el heterogéneo basamento de La Paz. Señalan que las rocas graníticas, más frágiles, predominan, mientras que las metamórficas (gneises), menos propensas al fracturamiento, se localizan hacia la parte superior del basamento.

Criterio geomecánico

Los modelos geomecánicos constituyen una herramienta fundamental para definir los límites operacionales y productivos de la perforación en reservorios de basamento. Estos modelos permiten estimar la profundidad a la cual las fracturas tienden a cerrarse por efecto del esfuerzo efectivo, evaluar la estabilidad del pozo y caracterizar la magnitud y orientación de los esfuerzos in situ. Asimismo, facilitan la identificación de discontinuidades y sistemas de fracturas favorablemente orientados respecto al campo de esfuerzos actual, capaces de permanecer abiertas y permeables a mayores profundidades. La integración de estos parámetros resulta clave para reducir riesgos operacionales y optimizar la localización de intervalos potencialmente productivos.

Criterio hidráulico y acuífero

En los reservorios del basamento naturalmente fracturado, el comportamiento del agua de formación y del

contacto agua-petróleo (CAP) es considerablemente más complejo que en reservorios convencionales. Debido a la heterogeneidad estructural, el CAP puede ser irregular, dinámico y compartimentalizado, favoreciendo migración preferencial de agua, contactos múltiples e irrupciones tempranas. La distribución del agua está controlada principalmente por la conectividad de fracturas, zonas de falla, permeabilidad vertical y anisotropía hidráulica. Las fallas pueden actuar tanto como conductos de flujo como barreras parciales, generando importantes variaciones de saturación y diferencias de producción de agua entre pozos cercanos.

Uno de los principales riesgos al profundizar la perforación consiste en interceptar fracturas hidráulicamente conectadas con el acuífero regional, lo que puede provocar incrementos abruptos del corte de agua y rápida disminución de la productividad petrolera. En muchos casos, perforar más profundo implica ingresar directamente en corredores dominados por agua.

Durante la perforación, especialmente utilizando lodos base aceite, cualquier ingreso de agua al sistema puede detectarse fácilmente por las variaciones en los valores de salinidad (Porrás et al., 2005). La caracterización química y determinación de la procedencia de estas aguas puede realizarse mediante métodos convencionales, como el diagrama de McKinell, una técnica gráfica ampliamente utilizada para la correlación e identificación de mezclas de aguas en yacimientos petrolíferos.

En el campo La Paz, el análisis dinámico y estructural sugiere que el campo se encuentra compartimentalizado en distintos bloques tectónicos con contactos de fluidos independientes (Fig. 11). Aunque las fallas podrían permitir cierta comunicación estructural, existen barreras hidráulicas que controlan el comportamiento de presión y la distribución de hidrocarburos dentro del reservorio (García et al., 2000).

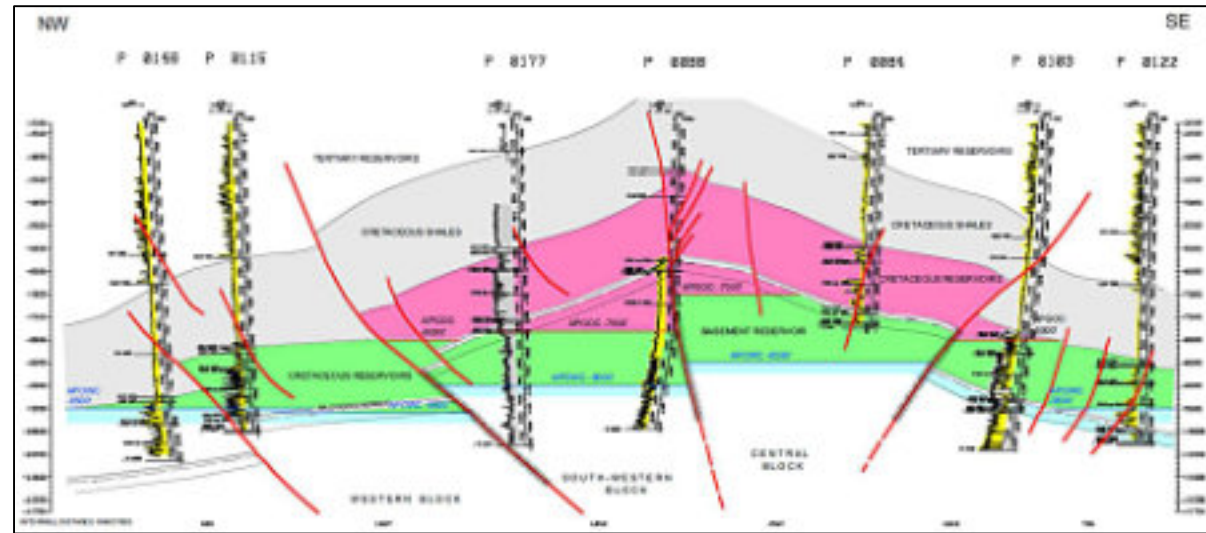


Figura 11. Sección estructural-estratigráfica del basamento fracturado de La Paz, mostrando la compartimentalización tectónica del campo y la presencia de distintos contactos de fluidos controlados por bloques estructurales separados por fallas mayores. Las variaciones en los contactos agua-petróleo (OWC) y gas-petróleo (GOC) evidencian un comportamiento hidráulico parcialmente independiente entre bloques, indicando comunicación limitada y posible presencia de barreras asociadas a zonas de falla y unidades de baja permeabilidad (fuente: García et al., 2000)

Por ello, la presencia y comportamiento del acuífero constituyen uno de los principales límites económicos y operacionales en reservorios de basamento. La decisión de profundizar debe integrar la evaluación de la cercanía al acuífero regional o CAP, conectividad hidráulica, orientación de fracturas, presión del acuífero y riesgo de conificación o irrupción temprana de agua.

Criterio económico

El límite final de profundización en reservorios de basamento está condicionado también por criterios económicos y de rentabilidad del proyecto. A medida que aumenta la profundidad, se incrementan significativamente los costos de perforación, completación y evaluación, especialmente en rocas cristalinas duras y altamente abrasivas. Por ello, la continuidad de la perforación debe justificarse mediante evidencias geológicas y productivas que compensen el riesgo exploratorio y operacional.

Factores como el potencial de producción, la calidad de los fluidos, la relación agua-hidrocarburo, los costos de estimulación y las condiciones del mercado energético influyen directamente en la definición del límite económico de perforación.

CONCLUSIONES

Los reservorios en el basamento ígneo-metamórfico constituyen plays petroleros de importancia mundial, cuya productividad depende principalmente de la presencia de fracturas abiertas y conectadas. Los ejemplos analizados demuestran que no existe una profundidad máxima universal para definir hasta dónde perforar en estos sistemas, ya que la permeabilidad y la saturación de hidrocarburos pueden persistir varios cientos o incluso miles de metros dentro del basamento.

Más que la profundidad absoluta, los principales controles de productividad corresponden a la posición estructural del pozo, la presencia de fallas regionales, zonas de daño de fallas y corredores de fracturas hidráulicamente conectados. Casos como La Paz-Mara y La Concepción en Venezuela; Guanaco, El Octógono, Chirete y Medanito en Argentina y diversos campos de Vietnam, Indonesia y Yemen evidencian que los intervalos productivos pueden localizarse a profundidades muy variables dentro del basamento cristalino.

Sin embargo, la profundización de la perforación debe evaluarse cuidadosamente frente al riesgo de interceptar fracturas conectadas con el acuífero regional, lo cual

puede generar irrupción temprana de agua y rápida pérdida de productividad. Por ello, el límite económico de perforación está controlado por la interacción entre factores estructurales, hidráulicos, geomecánicos y económicos.

En consecuencia, definir “hasta dónde perforar” requiere una integración multidisciplinaria avanzada entre geología estructural, geomecánica, petrofísica, caracterización de fracturas y simulación dinámica de fluidos, apoyada por tecnologías modernas como sísmica 3D, imágenes de pozo y modelos DFN.

REFERENCIAS

- Agüera M., Porras J.S., Cavalleri P. y Stark A., 2017. Ocurrencia De Hidrocarburos en el Basamento Ordovícico de la Subcuenca de Lomas de Olmedo, Noroeste Argentino. XX Congreso Geológico Argentino, Tucumán, Argentina, 7-11 Agosto 2017.
- Agüera M., Porras J.S., Belotti H., Naidés C., Cavalleri P. y Stark A., 2018. Los reservorios de la Formación Las Breñas, en M. Schiuma, G. Hinterwimmer y G. Vergani (eds) “Rocas Reservorios de las Cuencas Productivas de la Argentina”, 2da Edición Actualizada, Nov 2018.
- Agüera M.E., Belotti H.J., Cavalleri P., Naidés C. and Porras J.S., 2019. Oil Discovery in Ordovician Prerift Sequences Las Breñas Formation, Lomas de Olmedo Sub-Basin, Northwestern Argentina. AAPG International Conference & Exhibition, B. Aires, Argentina, August 2019.
- Aguilera R., 1996. Hydrocarbon Production from Naturally Fractured Granite, Technical Note # 2. April 18, 1996.
- Barrionuevo M.F., 2015. Las Rocas Volcánicas del Grupo Choiyoi como Reservorio de Hidrocarburos. Yacimiento 25 de Mayo-Medanito S.E. (38°1'43" LS y 67°53'45" LO), Cuenca Neuquina, Argentina. Tesis Doctoral Universidad de Salta.
- Bravo, P., & Herrero, C., 1997. Reservorios naturalmente fracturados en rocas volcánicas jurásicas, Cuenca de Magallanes, Chile. En VI Simposio Bolivariano: Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas (Memorias, Tomo I, pp. 66–84). Cartagena de Indias, Colombia.

Cuong, T.X. & Warren, J.K., 2009. Bach Ho Field, a fractured granitic basement reservoir, Cuu Long Basin, offshore SE Vietnam - a ‘buried-hill’ play. Journal of Petroleum Geology, 32, 129-156.

Dean J.S., Wilson, J.T., Mainzer, G.F., Escobar, F. y Aguirre, G., 1993. Preliminary assessment of the Lago Mercedes discovery, Magallanes Basin, Chile. AAPG Search and Discovery Article #90988, AAPG/SVG International Congress and Exhibition, Caracas, Venezuela, March 14-17, 1993.

García J., González G., Leandri P, Lorin T. y Reymond A., 2000. La Paz Field Study: Multidisciplinary Approach in Fractured Reservoir Characterisation and Applications To Field Development. Memorias VII Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en las Cuencas Subandina, 662-688.

Guariguata R.C. y Richardson J.A., 1959. El Basamento en el Oeste del Lago de Maracaibo, III Congreso Geológico Venezolano.

Gutmanis, J.C., 2009. Basement Reservoirs - A review of their Geological and Production Histories. International Petroleum Technology Conference, Doha, Qatar, 7-9 December 2009. IPTC 13156.

Hinterwimmer G., 2002. Los Reservorios de la Serie Tobífera, en Rocas Reservorios de las Cuencas Productivas de la Argentina en Schiuma M., Hinterwimmer G. y Vergani G.s (Eds), V Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, IAPG, Mar del Plata, Nov 2002, 27-47.

Holdsworth R.E., R. Trice, K. Hardman, K.J.W. McCaffrey, A. Morton, D. Frei, E. Dempsey, A. Bird & S. Rogers., 2019. The nature and age of basement host rocks and fissure fills in the Lancaster field fractured reservoir, West of Shetland. Journal of the Geological Society.

Islam M.R, Hossain M.E an Islam A.O., 2018. Hydrocarbons in Basement Formations. John Wiley & Sons and Scrivener Publishing (eds), 622 p.

Koning, T., 2003. Oil production from Basement Reservoirs – Examples from Indonesia, USA and Venezuela. In: Petford, N. & McCaffrey, K.J.W. (eds), Hydrocarbons in Crystalline Rocks. Geological Society, London, Special Publications, 214, 83-92.

Koning T., 2013. Fractured and Weathered Basement Reservoirs - Best Practices for Exploration and Production: Examples from USA, Venezuela and Brazil. AAPG Search and Discovery Article #90163, AAPG 2013 Annual Convention and Exhibition, Pittsburgh, Pennsylvania, May 19-22, 2013.

Koning T., 2022. Exploration and production of oil and gas from naturally fractured and weathered basement reservoirs in Asia, Africa and the Americas. CSEG Recorder, Focus Article, June 2022, 23 p.

Nelson, R.A., 2001. Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs (Second edition). Gulf Professional Publishing, Elsevier, Oxford, UK.

López S., Sisinni V., Rodríguez L., Lavia M, Borges G. y Vargas S., 2010. Gas en Basamento de la Cuenca Neuquina, Informe.

P'an, C.H., 1982. Petroleum in basement rocks. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 66, 1597-1643.

Peacock D.C. and Banks G. J., 2020. Basement highs: Definitions, characterisation and origins, Basin Research 2020;32:1685-1710.

Porras J.S., Benito J., Machado V., Chirinos N., Peralta E., Marchal D., Balseiro P., Gonzalez I., Ferro C.E. y Luis Ochoa L., 2005. Subsurface Fracture Detection Using Multiple Borehole Parameters and Its Application on the Carbonate Reservoir of La Concepcion Field, Western Venezuela. Seminário De Reservas E Reservatórios 2005, Petrobras

Porras J.S., Castillo C, Machado V. y Chirinos N., 2007. Basamento en La Concepción, Cuenca de Maracaibo: Oportunidad de Explotación de un Yacimiento No Convencional, IX Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Octubre 2007

Porras J.S., Ferro C.E., Castillo C., Machado M., Ochoa L. and Chirinos N., 2007. Fractured Basement: New Exploratory Target in La Concepción Field, Western Venezuela, AAPG Annual Convention, Long Beach, California, Abril 2007.

Sircar A., 2004. "Hydrocarbon Production from Fractured Basement Formations", Current Science, Vol. 87, No. 2, 25 July 2004, p. 147-151

Sisinni V., Lavia M. y Ponce J., 2011. Unconventional Deep Gas Play-Guanaco Filed. AAPG Unconventional Resources GTW, Buenos Aires, June 26-28, 2011

Sisinni V., López S. y Lavia M., 2011. Yacimientos de Gas No Convencionales en el Ciclo Precuyano y en el Basamento en el Área de la Dorsal de Huincul en La Cuenca Neuquina. VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos IAPG, 693-710.

Sruoga P., N. Rubinstein N. y Hinterwimmer G., 2004. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the Serie Tobífera, South Patagonia, Argentina. Journal of Volcanology and Geothermal Research 132 (2004) 31-43.

Sruoga P. and Rubinstein N., 2007. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén basins, Argentina, AAPG Bulletin, v. 91, no. 1 (January 2007), pp. 115-129

Trice, R., 2014. Basement exploration West of Shetlands, progress in opening a new play on the UKCS. In: Cannon, S.J.C. & Ellis, D. (eds), Hydrocarbon Exploration to Exploitation West of Shetlands. Geological Society, London, Special Publications, 397, 81-105.

Velo D., Manceda R., Creus F., Rodrigo Ugarte R., Narrillos D. y Ciancio L., Pioli O. y Mallaviabarrena M., 2014. Caracterización del reservorio en el basamento cristalino de la Cuenca Neuquina. Petrotecnia. Dic 2014, 24-43

Venara L., Bahl Chambi G. , Cremonini A. y Limeres M., 2009. Estancia Dos Lagunas: Producing Gas and Condensate from a Volcanic Rock in The Argentinean Austral Basin, 24th World Gas Congress, 5-9 October, Buenos Aires, Argentina

CONTROLES GEOLOGICOS Y USOS INDUSTRIALES DE LOS MINERALES NOMETALICOS DEL MACIZO METAMÓRFICO ESCAMBRAY EN CUBA CENTRAL

Humberto Álvarez-Sánchez (1). Luís Bernal Rodríguez (2)

1) *Miramar Mining Corp. Panama Republic.* 2) *Instituto de Geología y Paleontología. La Habana.*

Resumen

El Macizo Metamórfico Escambray constituye una unidad geológica singular en el sur de las provincias centrales de Cuba, con características geológicas distinguidas del resto del territorio nacional, por su compleja evolución geotectónica y diversidad litológica que ha dado lugar a un amplio espectro de manifestaciones de minerales no metálicos, muchos de los cuales poseen alto valor económico e industrial. Entre los recursos más relevantes destacan granates de la serie almandínica, cuarzo (óptico, piezoelectrico y cerámico), grafito, micas, talco, asbestos, jadeitas, serpentinitas (antigoritas), clorititas, minerales de titanio (rutilo y esfena), circón y posibles elementos de tierras raras y diamantes técnicos. La mineralización está controlada por condiciones metamórficas específicas, especialmente en las Zonas 2 y 3 del metamorfismo regional, y se asocia a unidades como los Esquistos de Algarrobo, la Formación Cobrito y sistemas de vetas de cuarzo. A pesar del significativo volumen de investigación geológica realizado en el Escambray desde la década de 1970, la explotación de los recursos minerales es nulo en la práctica lo que constituye una paradoja económica dado el alto potencial del área. La evidencia geológica indica reservas considerables y perspectivas reales de desarrollo industrial, especialmente en materiales abrasivos, refractarios, cerámicos, electrónicos y metalúrgicos. El principal problema identificado es la fragmentación de los estudios de prospección. Dada la coexistencia de múltiples recursos interrelacionados bajo controles geológicos comunes, se propone un enfoque integral y simultáneo para su evaluación y explotación. Se recomienda la elaboración de un estudio pronóstico sistemático y la creación de una brigada geológica especializada para desarrollar proyectos técnico-económicos que permitan convertir al Escambray en una región minera activa y estratégicamente relevante.

Palabras clave. Macizo Escambray. Minerales no metálicos. Prospección geológica. Recursos minerales de Cuba

Abstract

The Escambray Metamorphic Massif constitutes a unique geological unit located in the southern part of the central provinces of Cuba, distinguished from the rest of the national territory by its complex geotectonic evolution and lithological diversity. These characteristics have given rise to a wide spectrum of non-metallic mineral occurrences, many of which possess high economic and industrial value. Among the most relevant resources are almandine-series garnets, quartz (optical, piezoelectric, and ceramic), graphite, micas, talc, asbestos, jadeitites, serpentinites (antigorites), chloritites, titanium minerals (rutile and sphene), zircon, and potential rare earth elements and industrial diamonds. Mineralization is controlled by specific metamorphic conditions, particularly within Zones 2 and 3 of regional metamorphism, and is associated with units such as the Algarrobo Schists, the Cobrito Formation, and quartz vein systems. Despite the significant volume of geological research carried out in the Escambray since the 1970s, the exploitation of mineral resources is virtually nonexistent, representing an economic paradox given the high potential of the area. Geological evidence indicates considerable reserves and real prospects for industrial development, especially in abrasives, refractories, ceramics, electronics, and metallurgy. The main problem identified is the fragmentation of exploration studies. Given the coexistence of multiple interrelated resources under common geological controls, an integrated and simultaneous approach is proposed for their evaluation and exploitation. The preparation of a systematic prognostic study and the creation of a specialized geological team are recommended to develop techno-economic projects aimed at transforming the Escambray into an active and strategically significant mining region.

Keywords: Escambray Massif; non-metallic minerals; geological exploration; mineral resources of Cuba.

Introducción.

El Macizo Metamórfico Escambray, al Sur de las tres provincias centrales, se extiende un área de 2,000 Km² y constituye una región independiente con sus rasgos geológicos propios y específicos. Por sus características geológicas es un territorio excepcional dentro de la Isla de Cuba, cuya exclusividad se manifiesta en el contenido particular de sus manifestaciones minerales.

Un conjunto de materias primas minerales solo se encuentran en su interior, de modo que sus manifestaciones parecen significativas desde el punto de vista industrial. Una parte considerable de esta gama de manifestaciones corresponde a los minerales no-metálicos y algunos otros minerales y elementos acompañantes valiosos. Gran parte de estas materias primas tienen una indudable importancia para la economía y se cotizan altamente en el mercado mundial, con los consiguientes desembolsos para su adquisición en divisas convertibles cuando, paradójicamente el país podría convertirse en un exportador neto de tales materias primas. Tal puede ser la situación, verbigracia, con el granate, cuyas reservas geológicas en el Escambray son tan considerables que puede plantearse responsablemente que Cuba tiene condiciones objetivas para crear una potente industria de extracción y beneficio del granate para la fabricación de productos abrasivos.

Un problema particular del Escambray es que, el amplio espectro de las manifestaciones minerales concentradas dentro de su mismo territorio, exigen un enfoque integral de las investigaciones. En cambio, en la actualidad los trabajos de prospección son aislados esporádicos escasos y sin metas definidas de carácter industrial.

En este trabajo los autores desean presentar una imagen de las perspectivas de este territorio que, estando muy lejos de agotar el tema de los no-metálicos, al menos contribuya a sistematizar la información y sustentar la elaboración de proposiciones concretas

Granates.

El mineral útil es granate de la Serie Almandínica. Actualmente se estudian dos manifestaciones en el Escambray: Picos Blancos y La Belleza, en la región norte de la Cúpula de Trinidad. De acuerdo con los datos del levantamiento geológico regional y geoquímica, las reservas geológicas son muy voluminosas y el grado de esperanza factible de revelar varios yacimientos industriales está bien fundamentado.

Las rocas que controlan la mineralización son muchos cuerpos litológicos: pero de verdadera significación práctica solo tienen interés los cuerpos de la Formación Esquistos de Algarrobo, integrada por esquistos granatíferos-glaucofánicos (metabasitas) y apoeclogitas granatíferas, típicas de la Zona 3 y borde externo de la Zona 2 del metamorfismo regional.

Es posible que en ciertas localidades lleguen a encontrarse en el futuro otras variedades de granates, tales como piropo, granates de Titanio (Schorlomita) e incluso demantoides (granate cálcico-férrico de la Serie Andradítica). Como los granates del Escambray tienen origen predominantemente metamórfico y se concentran en ciertos horizontes litológicos, sus acumulaciones yacen en cuerpos estratiformes o lenticulares, por cuya causa los trabajos de prospección pueden ser relativamente simples y baratos (Figura 1)..

Los métodos de beneficio del mineral son sencillos y como se acompañan siempre paragenéticamente con moscovita, grafito, rutilo; puede ser económicamente muy ventajoso si durante el beneficio se separan y recuperan los minerales útiles acompañantes.

El principal uso de este mineral, en las actuales condiciones de Cuba, debe encaminarse a su empleo como material abrasivo, en la confección de papel y telas de lija para el pulimento de maderas, vidrio, pieles, etc. Y para construir piedras abrasivas, ruedas de desgaste y diferentes abrasivos sintéticos. Sin embargo, hasta el momento Cuba importa este material y sus productos elaborados.

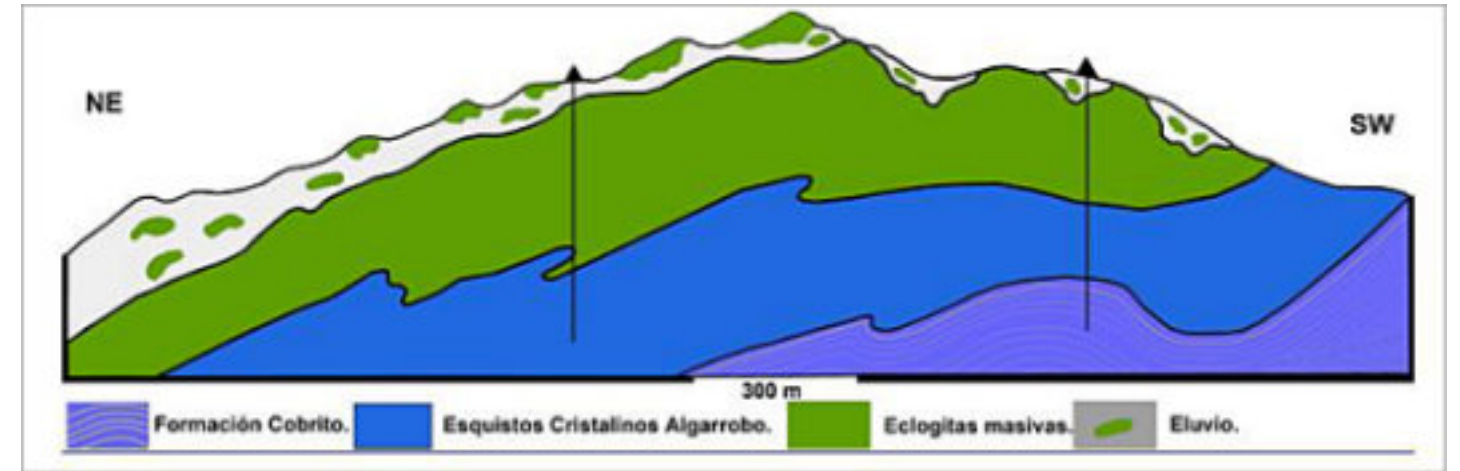


Figura.1. Perfil geológico esquemático del yacimiento de granates de La Belleza sobre la base de perforación y métodos geofísicos. Loma de los Guapos, Norte de la Cúpula de Trinidad (según Lobik y Bernal; en Dublan y Álvarez-Sánchez et al. 1986).

Cuarzo.

Las variedades de materia prima de preferencia en la prospección son el cuarzo óptico y piezoelectrico y con fines cerámicos. Las manifestaciones de cuarzo de distintas variedades son muy abundantes en el Escambray y se encuentran manifestaciones en la totalidad de su extensión. Se conoce el pequeño yacimiento de Yaguanabo (Figura 2) en la Cúpula Occidental y se estudia actualmente una manifestación en la Cúpula de Sancti Spiritus. Sin embargo, las potencialidades de cuarzo son mucho mayores. El levantamiento geológico regional ha registrado decenas de manifestaciones de este mineral. Son muy significativas las vetas de cuarzo de baja temperatura del sistema radial de fallas y del sistema concéntrico, con centenares de metros por el rumbo y hasta decenas de metros de potencia (Figuras 3 y 4).



Figura.2. Vetas de cuarzo opaco de baja temperatura en la Formación Yaguanabo (K1) en la región SW de la Cúpula de Trinidad (Foto L. Bernal. IGP).

Los controles geológicos de las vetas y campos de vetas son conocidos así como su ubicación espacial. La tarea de localizar acumulaciones industriales se facilita por esta circunstancia y las perspectivas de encontrar reservas voluminosas están prácticamente garantizadas según las evidencias geológicas.



Figura.3. Vetas de cuarzo opaco de baja temperatura en la Formación La Sabina (K_1) en la región Norte de la Cúpula de Trinidad (Foto H. Álvarez).

Las zonas más prometedoras se ubican en las regiones de propagación de las vetas de cuarzo grandes y medianas de los sistemas de fallas principales (Figura 5), las cuales fueron rellenadas por cuarzo durante las etapas tardías del desarrollo geológico del Escambray. Los usos de este mineral son variados y de gran importancia práctica.

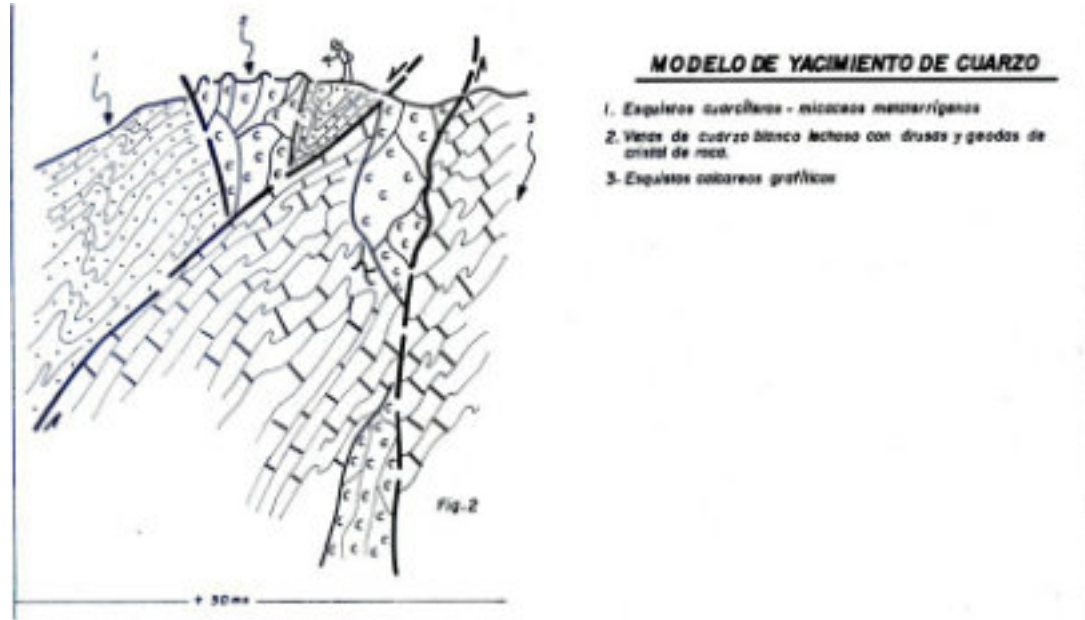


Figura.4. Modelo de los depósitos de cuarzo de vetas en las condiciones de yacencia típica en ambas cúpulas del Macizo Escambray, controlados por fallas postmetamórficas de tensión asociadas a la emersión del macizo en la parte del núcleo de las cúpulas.

Los cristales incoloros se emplean en artículos de adorno y aparatos ópticos. La industria da la radiotécnica lo aprovecha para producir resonadores y estabilizadores de onda. Con el cuarzo fundido se fabrican vasijas refractarias y vidrios especiales de alta resistencia mecánica y lámparas de cuarzo para luz ultravioleta.

El cuarzo se emplea también en la producción de “carborundo”, material abrasivo de la más alta calidad. El cuarzo fundido, igualmente se consume en la producción de cerámicas con muy bajo coeficiente de dilatación y resistente a los ácidos.

En Cuba actualmente no existe el aprovechamiento industrial de este mineral, importándose la mayoría de los productos elaborados. Las inversiones solo se aplican al aprovechamiento de las arenas en la industria de vidrios no técnicos, y esto en una pequeña escala.

Grafito.

La materia prima más común en el territorio parece ser la variedad terrosa criptocrystalina. Las manifestaciones de este mineral en el Escambray son innumerables pero poco significativas. El mapeo geológico registra numerosos cuerpos delineables a 1:50,000, de rocas gráficas dentro de las secuencias de esquistos metaterrígenos, calcíferos y mármoles de la Formación Cobrito. Otras manifestaciones inmapeables, se encuentran en las más variadas posiciones geológicas. Hasta el momento no existen yacimientos estudiados pero las reservas geológicas son evidentemente considerables en la Formación Cobrito.

La casi totalidad de las manifestaciones y cuerpos mapeados se encuentran en las Zonas 2 y 3 del metamorfismo regional, en ambas Cúpulas. El complejo litológico principal que controla la mineralización está integrado por la Formación Cobrito (J3) (Figura 4) (esquistos calcáreos, predominantes) (Figura 5).

Los sectores prospectivos están delimitados por el levantamiento geológico (Figura 6). Hecho que excluye la etapa de búsqueda regional. Las dimensiones de los cuerpos mapeados así como las características de las manifestaciones conocidas indican un alto grado de esperanza para localizar depósitos de valor industrial.



Figura.5. Esquistos negros calcáreos de la Formación Cobrito con elevado contenido de grafito. Zona Oeste de la cúpula de Trinidad (Foto L. Bernal. IGP.).

El grafito es necesario en las más diversas ramas de la producción. Este mineral se demanda para la industria metalúrgica y química. En la industria eléctrica se utiliza para la fabricación de electrodos y núcleos de pilas secas. El

grafito se emplea en los reactores nucleares como moderador de neutrones. El polvo de grafito se utiliza para la confección de lápices, pinturas y para la lubricación de las piezas metálicas de rozamiento y la fabricación de cepillos pulidores. En la industria metalúrgica, con este mineral se confeccionan crisoles para la fundición de metales. Cuba no produce grafito e importa todas las variedades así como los productos industriales manufacturados con este mineral.

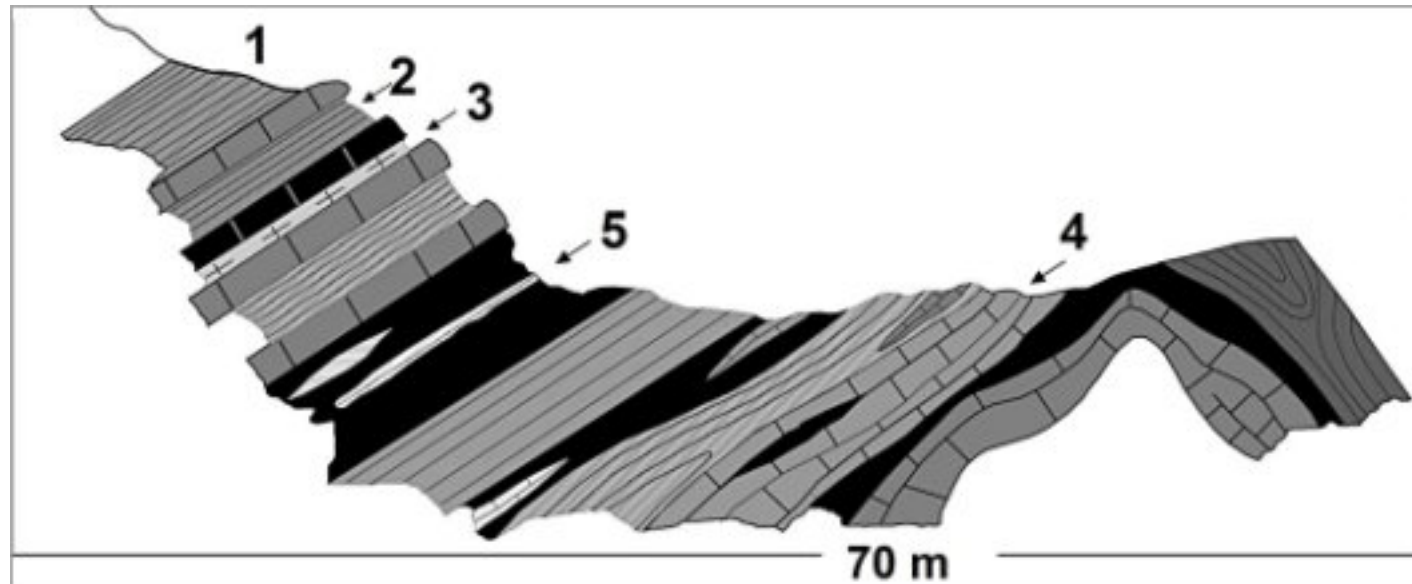


Figura.6. Modelo de los depósitos estratiformes de grafito asociados a la Formación Cobrito. 1. Metasilicitas. 2. Metaareniscas. 3. Esquistos verdes metatufogénicos. 4. Mármoles micáceos grafiticos y esquistos calcáreos. 5. Esquistos calcáreos finamente laminados micáceos saturados de grafito y esquistos grafiticos plásticos deleznales.

Mica.

Los minerales principales son micas blancas o claras: moscovita, paragonita y también fuschita (mica verde crómica). No existen yacimientos estudiados en el Escambray pero las reservas geológicas son evidentemente grandes y las manifestaciones muy numerosas. Sin desembolsos considerables seguramente podrán revelarse yacimientos con valor industrial, aunque acumulaciones de cristales grandes no son típicas de esta región.

Las rocas controladoras de la mineralización son principalmente las secuencias y paquetes de esquistos metaterrígenos cuarcíferos-micáceos. Otras rocas controladoras son los grandes espesores de Esquistos Cristalinos de Algarrobo que se acompañan por apoeclogitas granatíferas muy micáceas.

Los sectores prospectivos se encuentran ubicados en la Zona 3 del metamorfismo, hasta cerca del contacto con la Zona 2, es decir, en la zona periférica de ambas cúpulas metamórficas.

El mineral útil se puede extraer de la molienda de grandes masas de rocas micáceas y la separación de la mica mediante un proceso hidráulico. También se puede recuperar como producto secundario del beneficio de las granatitas utilizando el mismo método de separación.

Los usos de este mineral son conocidos como aislante eléctrico y térmico. Con el polvo de mica se fabrican artículos industriales refractarios, cartón asfaltado, papel para proteger superficies, cartón de mica, pinturas refractarias y de brocado, artículos de cerámica, explosivos y lubricantes. La mica se emplea en la producción de cosméticos. La variedad de grano fino aglutinada con goma laca y compactada a gran presión, es un producto industrial llamado "micanita" empleado para juntas aislantes de aparatos eléctricos, tales como cafeteras. etc.

Cuba no produce este mineral ni los productos industriales derivados.

Talco.

El mineral útil es el talco apoultramáfico derivado de apoperidotitas y metabasitas. El talco apocarbonático y aluminico son de existencia problemática en el Escambray. Hasta ahora solo existe el yacimiento de La Sabina, cerca de la parte central de la Cúpula Occidental; que es un yacimiento pequeño pero que no se explota.

Las manifestaciones de talco en la región son muy numerosas y las reservas geológicas son considerables y poco estudiadas. Su ubicación está registrada por el mapeo geológico y es posible excluir la etapa de la prospección regional porque, además, los controles geológicos son conocidos.

Las rocas controladoras de la mineralización son los cuerpos apoperidotíticos y metabásicos en contacto con secuencias de metasilicitas en las Zonas 2 y 3 del metamorfismo regional. Otras manifestaciones fuera de estas ubicaciones parecen menos significativas. Por tanto, los sectores prospectivos se pueden delimitar a partir del material cartográfico existente y cierta cantidad de reconocimientos de verificación.

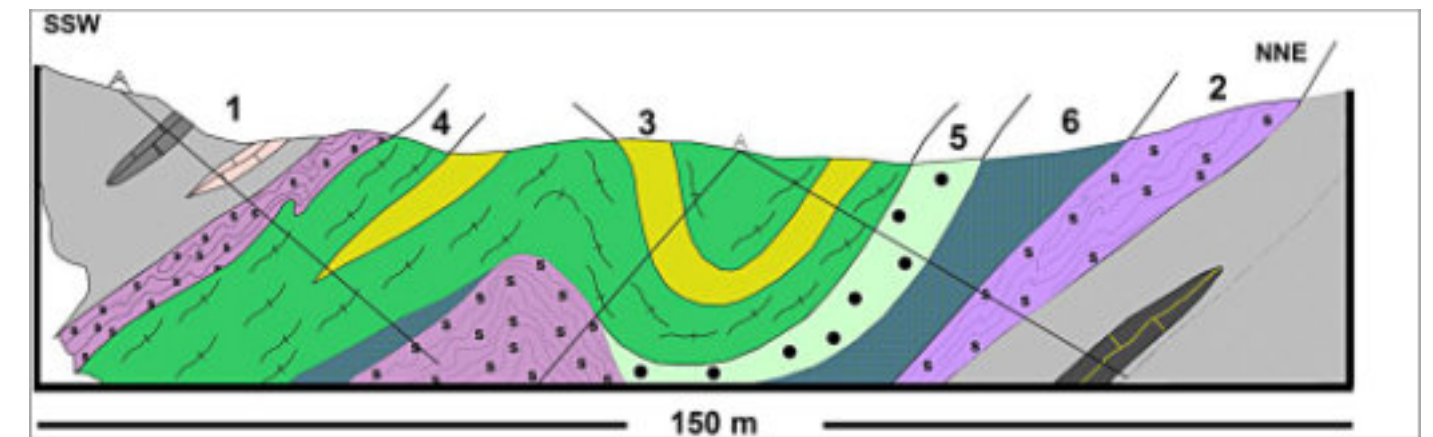


Figura.7. Miembro Los Torres de la Formación La Sabina. 1-Metasilicitas y metapelitas silíceas con lentes de mármoles grafiticos. 2-Serpentinitas apoperidotíticas foliadas. 3-Esquistos compactos de talco. 4-Esquistos de talco-clorita. 5-Epidiositas talcosas. 6-Metadiabasas y metagabros con relictos de cúmulos (Camino Viejo Crucecitas-San Blas).

El esquema genético principal está bien aclarado. El talco de las manifestaciones típicas del Escambray se forma mediante metasomatosis de baja temperatura a partir de las rocas de composición favorable; sobre todo en las zonas de contacto con secuencias de silicitas y otras de composición similar o en las intersecciones de las vetas de cuarzo con las rocas madres.

Los usos de este mineral son muchos y valiosos. El polvo fino de talco se usa en la industria del papel así como del caucho para aumentar el volumen del material sin cambiar sus propiedades fundamentales. Las variedades con poco hierro se emplean en la industria de los cosméticos. En la industria de colorantes se emplea para barnices refractarios y resistentes a la radiación lumínica y como bases de pinturas. Como base para lápices blandos para vidrio, tela o metal se utiliza talco. En la industria textil se aprovecha como sorbente para blanqueo del algodón. En cerámica, el polvo de talco se usa para la fabricación de aisladores de alta tensión, barnices vítreos, vajijas y lozas resistentes a los ácidos y álcalis, tubos de alcantarillado, muebles de laboratorio, etc. En medicina, las variedades con muy bajo contenido de arsénico, se emplean como portador inerte de sustancias medicamentosas.

El talco impuro se utiliza serrado para ladrillos refractarios y lozas para revestimiento de hornos siderúrgicos, hogares de locomotoras, etc. El talco blanco, endurecido por calcinación, provee el mejor material para los quemadores de lámparas de acetileno. El talco se usa en la fabricación de estufas y calentadores eléctricos.

Asbestos.

Los minerales útiles principales son el asbesto crisotílico, el asbesto actinolítico y cierta parte de asbesto tremolítico. Estos minerales están poco estudiados en el Escambray. Se conocen manifestaciones dispersas localizadas en gran parte durante el levantamiento geológico regional, las cuales nunca han sido evaluadas. Las premisas geológicas de

existencia de esta mineralización indican condiciones favorables de ocurrencia en esta región. Según las observaciones realizadas, las manifestaciones de asbesto crisotílico están relacionadas con cuerpos apoultramáficos, mientras que los asbestos anfibólicos se asocian con las zonas alteradas de los cuerpos de esquistos verdes metabásitos en compañía de talco, cuarzo, clorititas y epidositas. Los cuerpos con manifestaciones de la mineralización se ubican espacialmente en la Zona 2 del metamorfismo, incluso hasta su borde más interno y, en menor grado, en la Zona 3 hacia su límite más externo. Tales regularidades pueden complementarse con la observación de que las manifestaciones suelen colocarse en las salbandas de los cuerpos de composición favorable donde se colocan a menudo en cortejos de vetas de cuarzo estrechamente asociadas a la metasomatosis de baja temperatura formadora del talco. Esta particularidad favorece la posibilidad de un beneficio simultáneo de ambas materias primas si no se determinan depósitos independientes.

Las distintas variedades de asbestos tienen una importancia práctica en distintas ramas industriales. El asbesto se emplea en la confección de tejidos incombustibles, múltiples productos para materiales de construcción, papel de techar, lozas refractarias, cartones, papeles especiales, materiales aislantes del calor y del ruido, pinturas refractarias para la industria química y del caucho y otros muchos usos.

Cuba no produce asbesto e importa totalmente toda la fibra necesaria para la producción.

Jadeititas.

La materia prima son las masas irregulares, lentes y, probablemente venas o vetas de roca jadeítica. La presencia de jadeitas en el Escambray fue señalada por primera vez por Millán y Sómin (1981), en forma de bloques dispersos encontrados en la Cúpula de Sancti Spiritus. Manifestaciones de ese mismo tipo se han encontrado por uno de los autores en la Cúpula de Trinidad. Las manifestaciones hasta ahora conocidas son escasas porque los encuentros son casuales. Jamás se han realizado trabajos para precisar detalles para la búsqueda de esta roca.

En ambas cúpulas los fragmentos encontrados contienen granos gruesos relícticos de un clinopiroxeno. En un caso se localizó la probable fuente de los fragmentos en un corte del camino Jibacoa-Picos Blancos. Por estos datos se puede suponer que las rocas que controlan la mineralización son cuerpos de rocas metabásicas y apoultramáficas en las zonas metamórficas de alta presión; concretamente en la Zona 3 del metamorfismo regional. Las rocas enriquecidas con jadeíta y el jade en masas (roca jadeítica) se utiliza en trabajos de orfebrería, joyería y tallas artísticas, proceso que puede conferirle gran valor monetario en dependencia de la finura de las tallas.

La revisión y estudio sistemático de estos cuerpos, sobre la base de estos criterios, puede revelar la presencia de yacimientos de este mineral que es explotable a partir de unas pocas toneladas de reserva.

Antigorititas y clorititas.

Las materias primas son las serpentinitas de la variedad antigorítica y las clorititas monominerales. En el Escambray existe un número muy crecido de manifestaciones de estas rocas que pueden ser aprovechadas económicamente. Las masas de antigorititas están controladas por zonas tectónicas principales que separan unidades importantes dentro del macizo (mantos, sistemas de plegamiento). Sobre todo ellas se relacionan con bandas o cinturones de mélange que contienen bloques y grandes cuñas tectónicas de eclogitas y otros esquistos cristalinos que son típicos de la Zona 3 del metamorfismo regional.

Las masas de clorititas, casi monominerales, son características de las zonas de metasomatosis asociadas a la formación de menas talcosas, donde ocupan sectores determinados dentro de la faja de alteración. En este sentido tienen el mismo control espacial y genético que las rocas de talco y talco-anfibólicas.

Las serpentinitas antigoríticas son rocas muy viscosas, tenaces y capaces de adquirir notable pulimento y belleza por cuya razón se emplean como piedras de revestimiento y en la confección de artículos de adorno, orfebrería o utilitarios; tales como cajas de joyas, ceniceros, pisa papeles, etc. Las clorititas monominerales reducidas a polvo y

beneficiadas se emplean para la producción de papel de empapelar paredes, ciertas variedades de cartón y como carga inerte en ciertas mezclas industriales.

En Cuba se explotó el yacimiento de antigorititas Pelo Malo situado en el cinturón ultramáfico de Cuba al norte del Escambray (en vías de agotamiento) y no se realiza prospección sistemática para la detección de nuevas reservas. Las clorititas no tienen aprovechamiento alguno ni se prospectan.

Rutilo y esfena.

Los minerales de Titanio en el Escambray son el Rutilo y la Esfena. En este este macizo geológico es conocido el hecho de que el complejo de las rocas magmáticas contienen 10-15 % y hasta 20% más de Titanio que las regiones adyacentes (Complejo Mabujina, Arco Volcánico de Zaza). Las manifestaciones de minerales de Titanio son muy comunes en las vetas de cuarzo, las cuales contienen concentraciones considerables de cristales de rutilo en ocasiones de grandes dimensiones. Sin embargo, el contenido de finos cristales de rutilo y esfena en otras rocas es también elevado.

Las regularidades de la distribución y densidad del contenido del mineral son aún desconocidos. De acuerdo a las particularidades geoquímicas arriba señaladas y según los datos de las manifestaciones conocidas, no se puede excluir la posibilidad de encontrar concentraciones industriales de los minerales útiles.

Durante las investigaciones regionales se han delimitado anomalías de hasta el 15% en peso de la fracción pesada compuesta de rutilo y más del 15% en peso de esfena en las mismas condiciones.

Las rocas que parecen perspectivas para esta mineralización son los sistemas de vetas de cuarzo en la Zona 3 del metamorfismo, las rocas de Algarrobo y cuerpos metabásitos-glaucófánicos. Probablemente también son perspectivas los horizontes de esquistos metaterrígenos mezclados con material volcánico primario. De localizarse zonas con elevado contenido de cristales de rutilo y esfena en la masa de las rocas, podría ser económico su beneficio como menas de Titanio.

El valor del Titanio es muy elevado. En la industria metalúrgica, con el Titanio se producen aceros especiales (ferrotitanio) de alta resistencia y tenacidad. El Titanio se consume en la industria de la pintura para la producción de albayalde de Titanio con alto poder de revestimiento. Por las elevadas propiedades metalúrgicas y tecnológicas del Titanio este metal es una materia prima inestimable en la industria aeronáutica y aeroespacial. En la industria de la radiotécnica se emplea Titanio para la producción de sensores y lámparas especiales. Igualmente el Titanio se utiliza también en la industria de la cerámica como colorante pardo y en la industria farmacéutica por sus propiedades medicinales

Diamantes técnicos.

La existencia de diamantes técnicos en el Escambray es una posibilidad real que se apoya en una serie de premisas geológicas. Después del XXII Congreso Geológico Internacional, donde se presentó información novedosa sobre el control geológico de los diamantes y el hallazgo de pequeños diamantes en complejos litológicos que jamás se consideraron como perspectivas; cambió el concepto sobre la búsqueda de este mineral. Actualmente los pequeños diamantes industriales se prospectan y encuentran en un espectro amplio de rocas intrusivas y metamórficas así como en ciertas estructuras tectónicas favorables (S. Slodkevitch, comunicación personal, 1988. XXVII Congreso Geológico Internacional. Moscú. 1987).

En el territorio del Escambray se presentan varios tipos litológicos perspectivas así como varias estructuras tectónicas favorables. Son rocas perspectivas en el Escambray, las eclogitas, las rocas granato-glaucófánicas, los Esquistos cristalinos de Algarrobo a menudo grafiticos, las zonas de propagación de esquistos grafiticos en las fajas de alta presión, las antigorititas y jadeitas. Como estructuras favorables se presentan las salbandas de las fajas de alta presión (fallas de sobrecorrimiento con sobrepresión).

La localización de diamantes técnicos en estas condiciones, aunque fuera en poca cantidad, sería un poderoso estímulo a una prospección de gran envergadura.

Los diamantes técnicos, como es conocido, tienen múltiples y valiosos usos industriales. Son insustituibles como abrasivos de la más alta calidad. Se emplean en el labrado de metales y herramientas de corte para metal y rocas

para los trépanos y coronas de perforación, sierras especiales para metal y roca y otros muchos otros usos industriales.

Circón. Elementos raros y dispersos.

Circón.

El mineral útil se encuentra en los cristales de Circón, en concentraciones que podrían obtenerse durante el beneficio de otras materias primas como granate, mica, rutilo, talco y otras. El Circón de diferente origen (detritico, de neoformación o regenerado) se contiene en varias rocas tales como esquistos cuarcíferos-micáceos metaterrígenos, metabasitas y otros esquistos cristalinos. Los porcentajes de contenido son muy variables. Este mineral se emplea para obtener dióxido de circonio destinado a la fabricación de vasijas de alta refractariedad y acidorresistentes; para la producción de pinturas y esmaltes muy estables; como sustituto del Platino en la producción de aparatos de investigación y medición, bujías de motores, aceros especiales, etc. El circonio es conocido portador del elemento Hafnio, con alta demanda en la industria electrónica para filamentos de válvulas y emisores termoelectrónicos, revestimiento de cátodos de tubos de rayos-x, etc.

Elementos raros y dispersos.

Las indicaciones de la presencia de elementos del Grupo de las Tierras Raras y otros elementos dispersos en concentraciones apreciables en el Escambray, provienen del estudio realizado por V. Mainegra (1988) sobre la composición mineralógica de glaucofanitas granatíferas, apoeclogitas y rutilos provenientes de esa región. Según Mainegra (comunicación personal, 1988), las rocas glaucofano-granatíferas se componen de fracciones ligeras de mica blanca, cuarzo, esfena, mica verde, glaucofana y epidota y de una fracción pesada integrada por granate, onfacita, turmalina, circón y rutilo. En esta última fueron detectados contenidos significativos de Escandio, Ytrio, Iterbio y Germanio. También se encuentra Titanio y Talio en cantidades aproximadas a los anteriores elementos. Los contenidos de elementos del Grupo de las Tierras Raras; de Titanio y Germanio, elementos no estudiados en el Escambray y de cuyas regularidades de distribución y control poco se sabe, agregan nuevas alternativas prometedoras al valor pronóstico de esta región. Los metales de las tierras raras, así como otros elementos raros y dispersos, tienen en la época moderna un creciente papel en tecnologías de vanguardia y en complejos y novedosos procesos industriales para obtener productos y equipamientos de nuevo tipo. En la industria electrónica y la obtención de aleaciones de metales para la aviación y la astronáutica estos elementos tienen una creciente demanda y los precios son sumamente elevados.

Conclusiones y recomendaciones.

1- El territorio del Escambray se ha investigado y prospectado geológicamente desde el año 1975. Descontando los trabajos temáticos realizados por el Instituto de Geología y Paleontología, la Empresa de Geología de Santa Clara (Servicio Geológico de Cuba) y sus diferentes Expediciones, ha invertido más de 10’000,000 de pesos (gran parte en moneda convertible y en rublos del CAME) en la realización de prospección geológica y levantamientos geológicos regionales en el Escambray. A pesar de ello, el nivel de explotación de los recursos minerales de esta región es aproximadamente igual a cero. Esta situación es extraordinariamente paradójica. La información acumulada, así como las premisas geológicas demuestran indiscutiblemente el potencial mineral de este territorio lo cual está avalado por un volumen amplio de manifestaciones concretas y documentadas.

2- A causa de su composición litológica variada, complicada historia geológica y particularidades geotectónicas, el Escambray es una unidad excepcional en el territorio cubano por el amplio espectro de sus manifestaciones minerales simultáneas. Dentro de su ámbito contiene manifestaciones de: mica, granate, grafito, talco, jadeita, cuarzo, minerales de Titanio, asbestos, mármoles, pigmentos minerales, rocas antigoríticas, etc. Además, presenta premisas geológicas e indicaciones de la existencia de Elementos del Grupo de las Tierras Raras, Circón, diamantes técnicos, etc.

3- La existencia simultánea, dentro de una misma unidad geológica, de una mineralización de amplio espectro con controles geológicos comunes e interrelacionados, exige como único principio metodológico correcto, un enfoque integral y una realización simultánea de los trabajos de prospección. El enfoque individual para la búsqueda es científicamente incorrecto y económicamente desventajoso.

Para comenzar a dar una solución consecuente a la potenciación de este territorio como una región minera y la utilización de sus recursos a corto y mediano plazo, proponemos:

- 1- Redactar un estudio denominado: “Evaluación pronostica de las materias primas minerales del Escambray. Orientaciones metodológicas y organizativas” (Tabla 1). Este texto debe ser redactado con una orientación eminentemente práctica, sobre la base del empleo total de toda la información disponible.
- 2- Organizar una brigada geológica del Tipo 1 con el nombre de “Brigada Escambray” . Las primeras funciones de ese núcleo inicial sería preparar los proyectos técnico-económicos para la prospección simultánea por grupos de minerales afines y, posteriormente a la aprobación de los presupuestos, proceder a la ejecución.

Tabla 1. Datos orientativos de la prospección.

Minerales y elementos.	Morfología de los depósitos.	Yacimientos o manifestaciones.	Formas probables de extracción o recuperación.	Controles.
Granates	Estratiformes o lenticulares.	La Belleza, Picos Blancos. Muy numerosas manifestaciones.	Canteras	Esquistos Cristalinos de Algarrobo. Esquistos glaucofano-granatíferos. Apoeclogitas granatíferas. Zona 3 del MR.
Cuarzo	Vetas	Yaguanabo. El Cacahual. Muy numerosas manifestaciones.	Canteras y socavones.	Fallas grandes de los sistemas radiales y concéntricos. Intersección de zonas de agrietamiento con secuencias ricas en sílice.
Grafito	Estratos, nidos, y cuerpos en forma de vetas.	Manifestaciones muy numerosas.	Canteras, socavones, pozos de mina.	Complejo de los esquistos calcáreos (Fm. Cobrito. Parte de los Mármoles San Juan. Esquistos Algarrobo. Zonas 3 y 2 del MR
Mica.	Estratos y secuencias de estratos,. Lentes de rocas micáceas.	Grandes reservas geológicas.	Canteras. Separación durante el beneficio de menas de granate.	Secuencias y paquetes de esquistos metaterrígenos y cristalinos de tipo Algarrobo. Apoeclogitas micáceas. Zona 3 hasta el contacto con la Zona 2 del MR
Minerales y elementos.	Morfología de los depósitos.	Yacimientos o manifestaciones.	Formas probables de extracción o recuperación.	Controles.
Talco	Vetas, lentes, bolsones alargados. Cuerpos en forma de estratos con elevada variabilidad del tipo y contenido.	La Sabina. Numerosas manifestaciones.	Canteras, socavones, pozos de mina.	Cuerpos apoperidotíticos y metabasitas en contacto con secuencias de metasilicitas. Zonas de intersección de vetas de cuarzo con las rocas madres. Zona 2 del MR.
Asbestos	Zonas de vetillas, bandas y fajas irregulares con ocasionales bolsones elongados.	Datos de catastro y algunas manifestaciones (variedad crisotílica). Manifestaciones numerosas de asbesto anfibólico.	Canteras. Recuperación durante la explotación de talco.	Cuerpos apoperidotíticos. Cuerpos de esquistos clorito-anfibólico-epidóticos, apovolcanógenos. Zona 2 del MR hasta su borde más interno. Salbandas de los cuerpos de rocas madres en las cercanías de vetas de cuarzo.
Jade	Vetas. Cuerpos en	Manifestaciones en forma	Cantera.	Cuerpos de serpentinitas

	forma de bolsa. Lentes y budinas.	de bloques deluviales y guijarros fluviales.		antigoríticas y metabasitas en la Zona 3 del MR.
Antigoritas	Masas de forma irregular.	Manifestaciones numerosas	Canteras	Grandes zonas tectónicas rellenadas por mélangé ultramáfico en zonas de alta presión.
Minerales y elementos.	Morfología de los depósitos.	Yacimientos o manifestaciones.	Formas probables de extracción o recuperación.	Controles.
Clorititas.	Bandas y cuerpos en forma de estratos.	Manifestaciones muy numerosas.	Canteras.	Fajas metasomatiza-das dentro de cuerpos de metabasitas y apoperidotitas que se acompañan por talco, epidositas etc. Zona 2 del MR.
Rutilo y Esfena.	De acuerdo a la forma de los cuerpos de las rocas portadoras.	Manifestaciones de rutilo en vetas de cuarzo. Rutilo y esfena en la masa de las rocas. Concentrados de lavado fluvial.	Canteras en masas de rocas beneficiables. Separación durante el beneficio de otras menas.	Sistemas de vetas de cuarzo. Esquistos Cristalinos de Algarrobo. Cuerpos de metabasitas y glaucofanitas granatíferas. Esquistos metaterrígenos impuros (con material vulcanógeno).
Diamantes técnicos	De acuerdo a la forma de los cuerpos de las rocas portadoras.		Canteras en masas de rocas beneficiables. Separación durante el beneficio de otras menas.	El.control supuesto com-prende todos los complejos litológicos de alta presión y las salbandas de las fajas tectónicas de esa misma naturaleza.
Minerales y elementos.	Morfología de los depósitos.	Yacimientos o manifestaciones.	Formas probables de extracción o recuperación.	Controles.
Elementos Raros y Dispersos.		Manifestaciones a nivel de análisis espectral.	Recuperación de concentrados durante el beneficio de otras menas.	Concentración de cristales de ilmenita-rutilo.
Circón	De acuerdo a la forma de los cuerpos de las rocas portadoras.	Mineral accesorio.	Recuperación de concentrados durante el beneficio de otras menas.	Metadiabasas y otras rocas básicas metamorfizadas.

Referencias bibliográficas.

Álvarez-Sánchez, H. y Romero Orestes, 1988, Proyección de los trabajos del Tema No. 27. Empresa de Geología de Santa Clara.
Betejtin, A. 1972, Curso de Mineralogía. Edit. MIR. Moscú.
Brauns, R. y Chudova, K., 1963, Mineralogía Especial. UTHA. México.
Dublan, L., Álvarez-Sánchez, H.; Mlcoch, B.; Mañour, J.; Lledíaz, P.; Molak, B., Vázquez, C.; Snopkova, P.; De los Santos, E., Soucek, J.; Pérez, M.; Mihailova, A.; Bernal, I.; Zoubek, J.; Ordoñez, M.; Soucek, J.; Morousek, J.; Svetska, J.; Marshall, W.; Pérez-Conde, R.; González, E.; Rodríguez, R., 1986, Informe Final del levantamiento geológico y evaluación de los minerales útiles en escala 1:50,000 del Polígono CAME-I, Zona Centro. Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana. 1,402 Págs. 250 mapas. (Inédito).
Millán, G., y Somin, M. L., 1981, Litología, estratigrafía, tectónica y metamorfismo del macizo de Escambray. Editorial Academia. La Habana. 104 páginas.
Niggli, P., 1954, Rocks and Mineral Deposits. Freeman & Co. San Francisco.
Polák, A., 1972, Nerudne Nerostrně Suroviny. SNT. Praha.(en checo).
Stanik, E., Ching, R., Chaloupsky, J., Suchanek, J., Schovanik, P., Valecka, J., Koverdysnsky, B., Mlcoch, B., Zoubek. J., Vazquez, C., Mañour, J., Vyjidak, B., Holak, J., Prochazka, J., Eisenreich, M., 1981, Informe del levantamiento geológico, geoquímico y trabajos geofísicos, realizados en la parte Sur de Cuba Central, en las Provincias Cienfuegos, Sancti Spiritus y Villa Clara. Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana. Cuba. 555 págs. (Inédito).



Ing. Humberto Álvarez Sánchez. Más de cinco décadas de experiencia profesional. Cartógrafo en los macizos metamórficos y ofiolíticos de Cuba central y en la geología de Cuba occidental. Editor principal cubano del *Informe de la Expedición Checoslovaquia–Cuba Escambray II*. Autor de unidades litoestratigráficas cubanas. Miembro de las subcomisiones del Jurásico, Cretácico y Paleógeno del Léxico Estratigráfico de Cuba. Descubridor del mayor depósito cubano de fosforitas marinas. Director de numerosas exploraciones para Cu y Au en la Cordillera Central de Panamá para **Geotec S.A.** Gerente de **MinAmerica** del Proyecto Escambray en Cuba. Jefe de operaciones en la evaluación de denuncios en Perú para *juniors* canadienses. *Mines Plan Manager* de **Petaquilla Minerals Ltd.**, en el yacimiento aurífero de Molejón. *Country Manager* en Uruguay de **Big Pony Gold (Utah)** y geólogo senior de **Gold Standard Brasil**, en la exploración de prospectos auríferos en Uruguay y en Santa Catarina y Mato Grosso do Norte en Brasil. Miembro *ad honorem* de la Comisión del Plan Maestro de Minería del país nombrado por el Ministro de Comercio e Industrias de Panamá. El **Banco Interamericano de Desarrollo** le encargó la redacción del Proyecto de Geología y Minería y lo hizo parte de la Misión Especial del BID para su entrega al Gobierno panameño. Fue asociado del Consejo Científico de **Geology Without Limits (GWL)** de la Federación Rusa y representó al **British Geological Survey (BGS)** en promoción de sus servicios en América Central. Director de **Miramar Mining Panamá** y **Minera Santeña S. A.**, Reside en Panamá. Y es colaborador de la Revista Maya de Geociencias, donde publica artículos científicos sobre geología, historia y epistemología de las ciencias de la Tierra.



Luis Ramón Bernal Rodríguez: Ingeniero con más de 35 años dedicados a la geología, en el campo de la geología regional, en la especialidad de cartografía geológica en la región central de Cuba. Autor de varios formes y jefe de proyecto. Participó en la generalización 100 000 del mapa geológico de Cuba. Ha dedicado varios años al estudio de sitios de interés geológico en todo el país, fundamentalmente enfocado en el inventario de los estratotipos de las unidades geológicas descritas. Autor de la Instrucción Metodológica para el Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 50 000. La Habana. Instituto de Geología y Paleontología – Servicio Geológico de Cuba (IGP – SGC). Autor del Código cubano de estratigrafía y miembro de la comisión ad hoc para la revisión de la traducción al español del Código Estratigráfico Norteamericano. Actualmente lidera el proyecto Actualización y completamiento del Léxico estratigráfico de Cuba. Es secretario de la Comisión Nacional del Léxico Estratigráfico de Cuba.

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

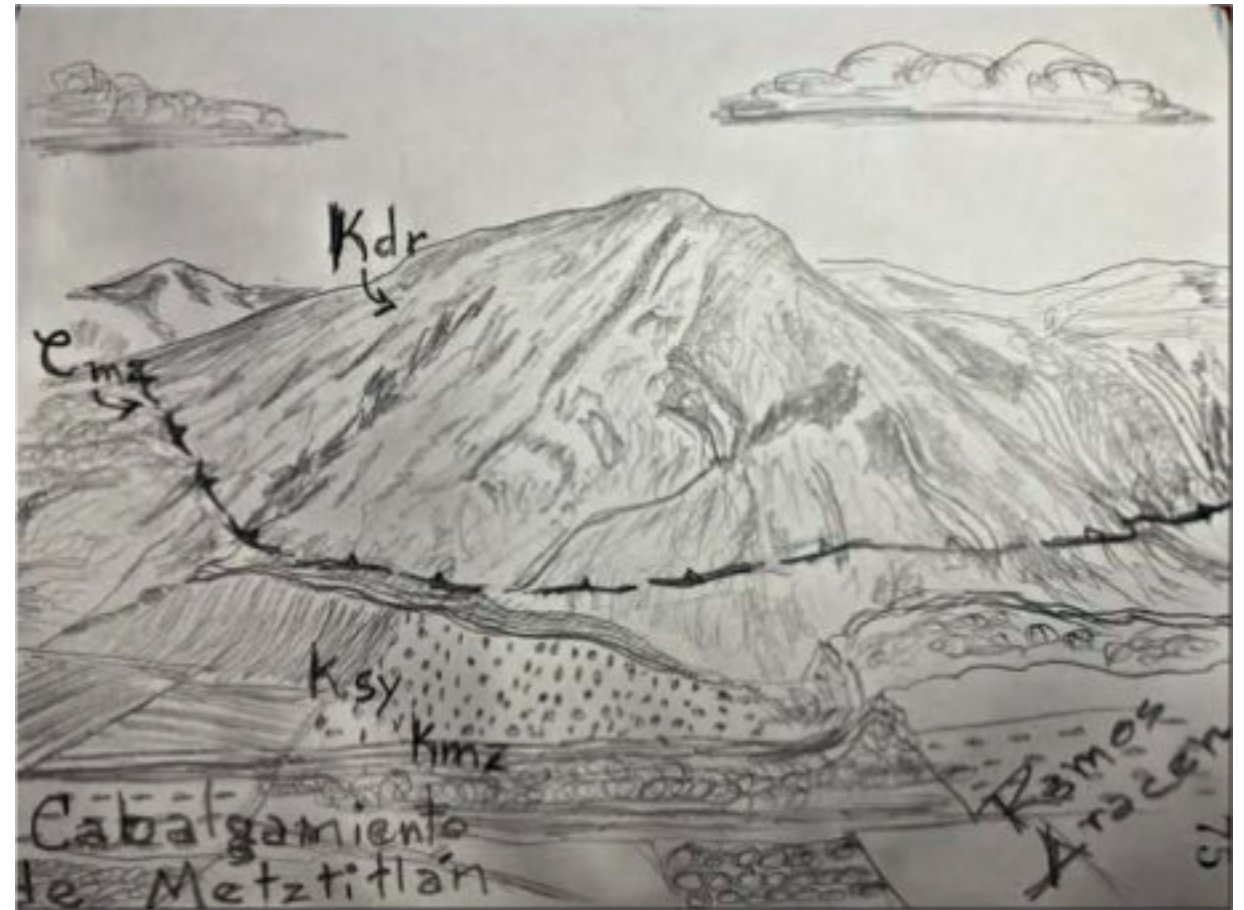
Ing. Rogelio Ramos Aracén

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 lcnofósiles que fueron clave para interpretar que estas turbiditas se depositaron a más de 3,800 m de profundidad. Posteriormente hice semidetalle estructural y más mediciones estratigráficas en la Plataforma Valles S.L.P., y uno grandioso de Reconocimiento Regional de la Sierra Madre Oriental, cubriendo los estados de Nuevo León y Tamaulipas, donde los paisajes, los sobre esfuerzos a veces inhumanos, me sellaron mi pasión por esas majestuosas montañas, recuerdo cuando subimos el Cerro del Viejo en la región de Zaragoza N.L. donde iniciamos los trabajos como a las 8 am y llegamos a la cima a las 21 pm casi desmayándome, después supe que esa cima fue referencia del navegante español Cabeza de Vaca en su 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.



Cabalgamiento de Metztitlán. Area de Metztitlán.

Localidad, Ex laguna de Metztitlán, Hidalgo, México.

Título, Cabalgamiento de Metztitlán, Hgo.

Desarrollo del trabajo: En los continuos recorridos de estudios de Geología regional y específicamente de la Geología Estructural de la Sierra Madre Oriental en la región de la Plataforma el Doctor, entre los estados de Hidalgo y Querétaro se visualiza este espectacular paisaje.

Descripción del Dibujo. En la figura 1, se observan en la parte superior a una majestuosa montaña formada por las calizas en capas gruesas de plataforma de edad Medio de la Formación El Doctor, definidas por Segestrom, y también estudiadas por Suter, Carrasco, Velazquez y un servidor. La este paisaje la Fm. El Doctor se encuentra sobrepuesta por falla de cabalgamiento sobre calizas arcillosas delgadas con intercalaciones de lutitas de las formaciones Soyatal y Mezcala de edad Cretácico Superior.



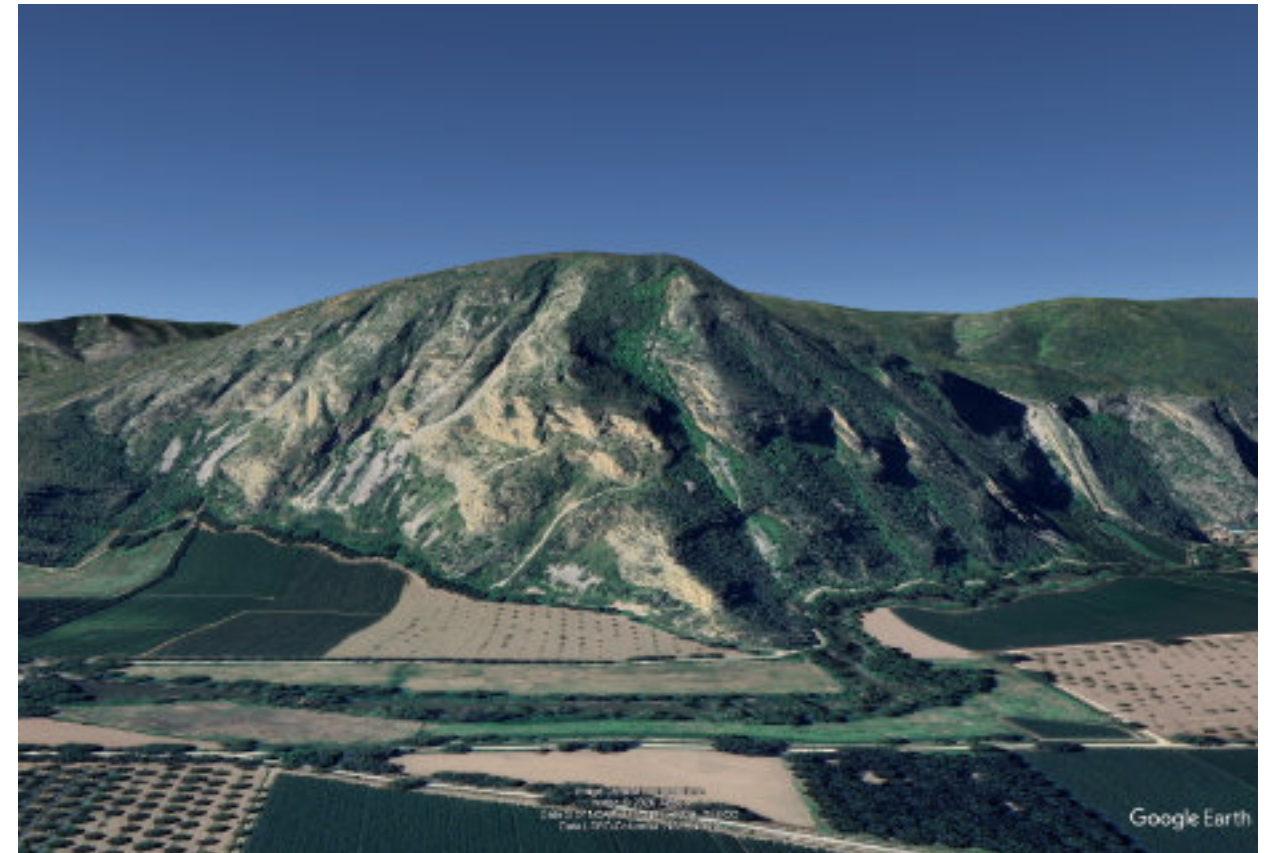
Capas de calizas de la Formación Tamaulipas Inferior.

Localidad, Camino en el área de Chapulhuacán, Hidalgo, México.

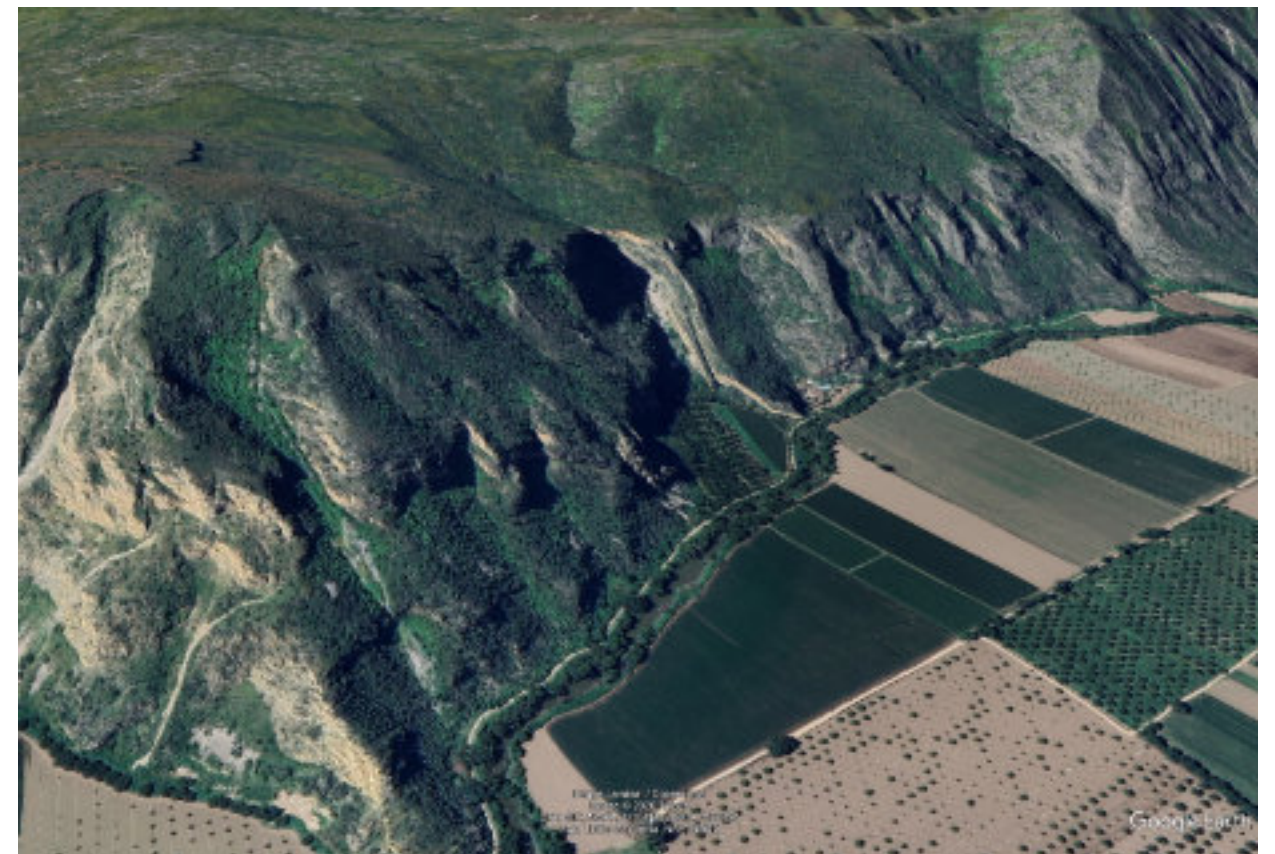
Título, Calizas de la Fm. Tamaulipas Inferior.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos de Geología Regional., en la región ya dentro de la Sierra Madre Oriental, se observaron, capas gruesas de 40 a 60 cm. de la Formación Tamaulipas Inferior.

Descripción del Dibujo. En el dibujo se presenta un afloramiento formado por capas constituidas por calizas color gris claro en capas medianas a gruesas con intercalaciones de horizontes de lutitas con horizontes delgados de pedernal de color gris oscuro pertenecientes a la Formación Tamaulipas Inferior de edad Cretácico Inferior.



Cabalgamiento de Metztitlán. Area de Metztitlán.



Capas de calizas de la Formación Tamaulipas Inferior



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

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

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

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

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

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

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

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

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

Co Autor del Libro

Paul Enos, Charles Minero, Rogelio Ramos Aracen. *"Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico"*, AAPG GUIDE BOOK FIELD TRIP AAPG DALLAS ANUAL CONVENTION 1997

Principales Conferencias Impartidas.

EN CONVENCIONES NACIONALES DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA, en los años:

1984 "LOS CABALGAMIENTOS EN LA REGIÓN DE CD. MANTE TAM." VI CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL HOTEL MA. ISABEL SHERATON EN MÉXICO, D.F.

1986 "EL ORIGEN DE LAS CONCRECIONES EN LA FM. LA CASITA" VII CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN EL IMP EN MÉXICO, DF.

1988 "LOS OLISTOLITOS DE LA FM. EL DOCTOR EN EL ÁREA DE ZIMAPAN, HGO". VIII CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN LA CFE EN MÉXICO, DF.

1990 "DEFORMACION ESTRUCTURAL EN EL FRENTE DE LA SMO ÁREA, XILITLA, TAMAZUNCHALE, SLP". IX CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN EL AUDITORIO BRUNO MASCANZONI DEL IMP EN MÉXICO, DF.

1992 "EXPLORACION DE PETROLEO ASOCIADO A EL FRACTURAMIENTO REGIONAL EN LA PLANICIE COSTERA" X CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL CENTRO DE CONVENCIONES "EXPOVER" EN EL PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ.

2021 "LA INVASIÓN MARINA SOBRE LOS BORDES CONTINENTALES DESDE EL CALLOVIANO AL KIMMERIDGIANO EN EL ORIENTE Y SURESTE DE MÉXICO. CDMX VIA ZOOM.

2021 "PRINCIPALES OROGENIAS EN MÉXICO CON CATACTERISTICAS GEOLOGICAS. ESTILOS ESTRUCTURALES, CRONÓLOGIAS". CDMX. VIA ZOOM

Foro de discusión Discussion Forum

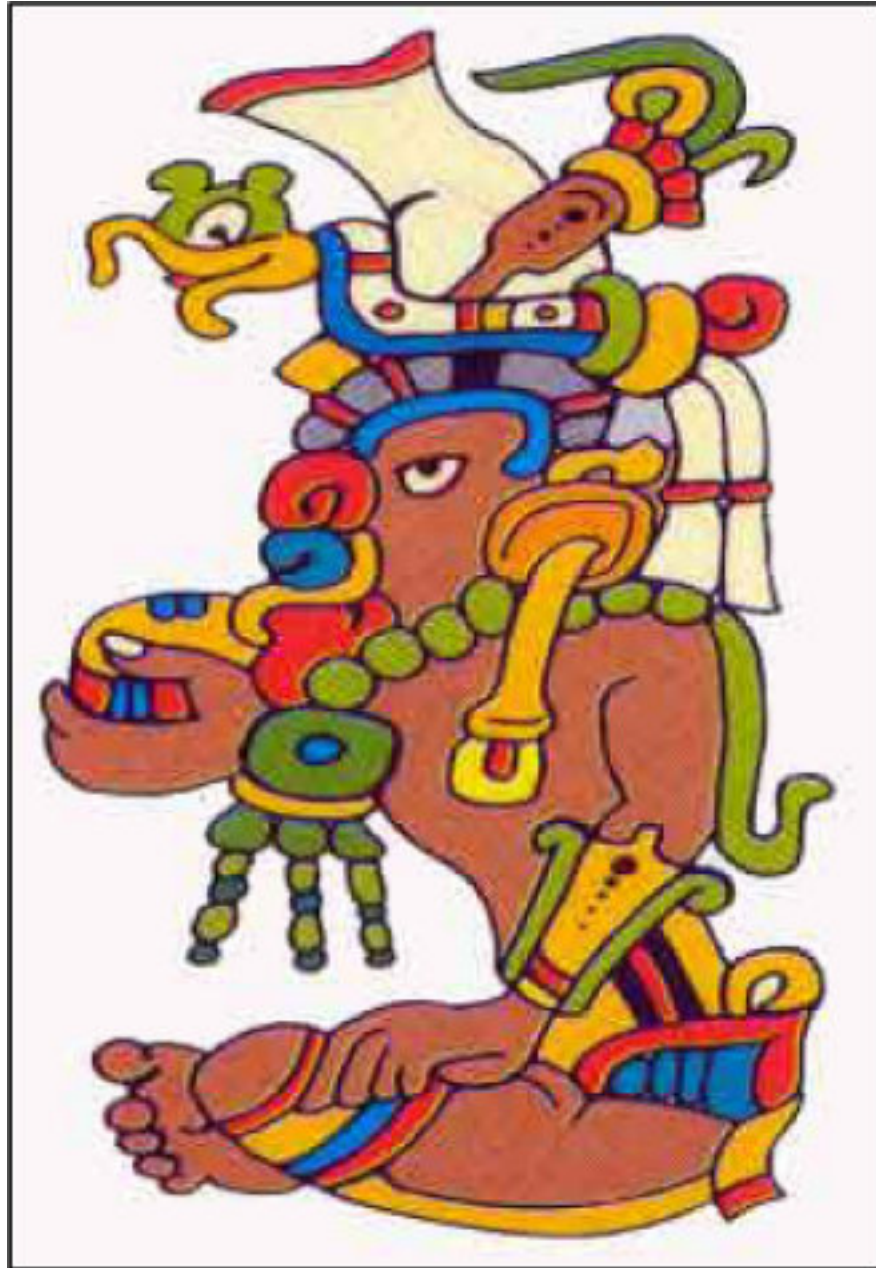
A sugerencia de uno de nuestros lectores, a partir de ahora, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para mantener el interés en una gran variedad de temas geológicos, y creará un ambiente de colaboración cordial entre nuestras comunidades de Geociencias.

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

At the suggestion of one of our readers, beginning with this August issue we will be including opinions and discussions from our readers relating to the published geological notes. This will permit active participation by interested parties. This discussion forum will certainly have great value for maintaining interest in a wide variety of geological themes, and will create a cordial, collaborative atmosphere among our geoscience community.

Please send your observations, comments and suggestions to any of the Editors of the Revista Maya de Geosciencias.

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



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

HUNGARIAN NATIONAL HISTORY MUSEUM, BUDAPEST

Haz click en la imagen





COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN DE GEOLATINAS

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

GeoSeminarios

¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

Presenta con nosotros tu:

- + Tesis de licenciatura, maestría o doctorado
- + Especialidad en la industria o academia
- + Proyecto de investigación
- + Etc...

Click aquí o bit.ly/GeoSeminarios2025

TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO **FORMULARIO** Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!

¡TE ESPERAMOS!

@GeoLatinas

YouTube, LinkedIn, Facebook, Instagram

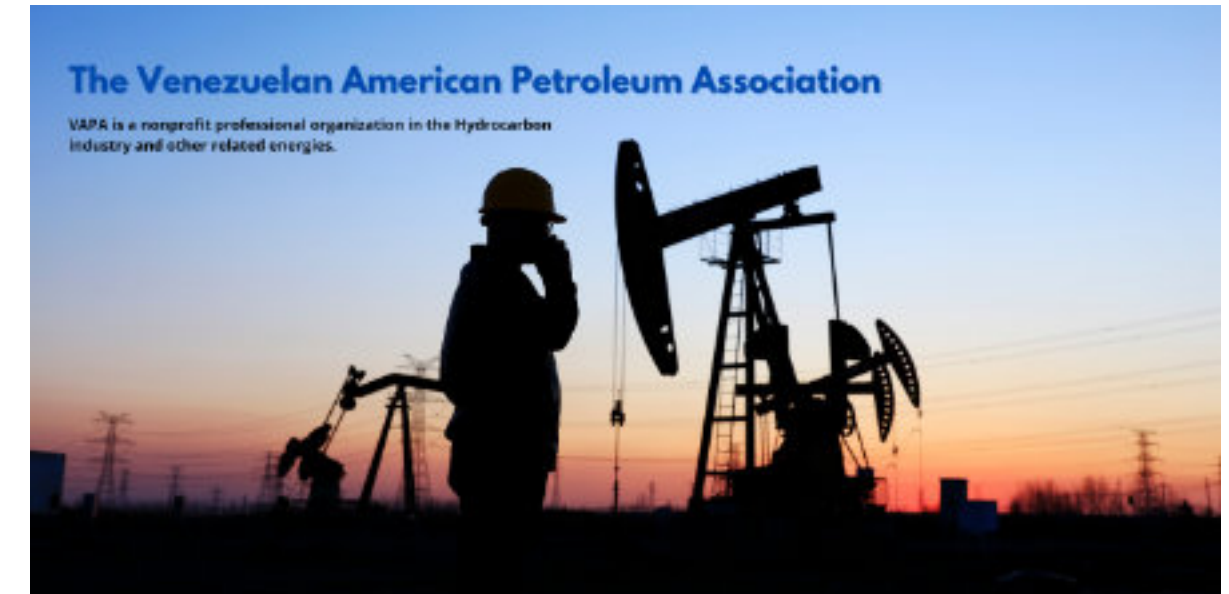
Transmisión

Checka nuestros GeoSeminarios en

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences



<https://vapa-us.org>



The Venezuelan American Petroleum Association

VAPA is a nonprofit professional organization in the Hydrocarbon industry and other related energies. It was founded in the state of Texas, USA in July 2019 and aims to establish relationships with organizations and institutions that can provide technical support, education and training to help the sustainable development of the Venezuelan energy industry.

VAPA is committed to promote technical events in upstream, midstream and downstream of both Oil and Gas and alternative energies that are of benefit to its members

Our Goal

The main Goal of VAPA is to bring together all the professional talent available in the Venezuelan Energy industry.

Our Purpose

Promote the professional growth of its members in technologies applied to the value chain of the energy sector while maintaining a high standard of conduct

Provide technical support, education, and training for the sustainable development of the Venezuelan Energy Industry.

<https://svhgc.blogspot.com/>

<https://share.google/GpSn4qVCP6Scav65g>



La Junta Directiva de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias los invita a visitar el Blog de la Sociedad donde encontraran información actualizada de nuestras actividades. Nuestra misión es preservar y difundir el legado de la Historia de las Geociencias en Venezuela.

¡Te invitamos al 1er ciclo 2026 de los Seminarios Institucionales del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGF-UNAM)!

Recuerda que los seminarios son tanto presenciales y online, y también puedes seguirlos por las redes sociales del IGF-UNAM: <https://www.geofisica.unam.mx/>



SEMINARIO INSTITUCIONAL 26
INSTITUTO DE GEOFISICA

- 10 de febrero de 2026**
MTRO. OCTAVIO GÓMEZ RAMOS
Jefe del Servicio Mareográfico Nacional, IGF
Colaboración Internacional en el proyecto SATREPS para la modelación numérica de tsunamis en El Salvador
- 11 de marzo de 2026**
DR. ARTURO IGLESIAS MENDOZA
Jefe del Servicio Sismológico Nacional, IGF
Fortalecimiento de la Red Sísmica Mexicana
- 7 de abril de 2026**
DR. LUIS X. GONZÁLEZ MÉNDEZ
Jefe del Servicio de Clima Espacial México, IGF
Servicio de Clima Espacial México (SCIESMEX)
- 6 de mayo de 2026**
DR. ENRIQUE CABRAL CANO
Jefe del Servicio de Geodesia Satelital, IGF
Contribuciones del Servicio de Geodesia Satelital al estudio de peligros geológicos
- 9 de junio de 2026**
MTRO. HÉCTOR R. ESTÉVEZ PÉREZ
Colaborador del Servicio Sismológico Nacional, IGF
Climatología de la capa de ozono estratosférico sobre la República Mexicana
- 12 de agosto de 2026**
DR. GERARDO CIFUENTES NAVA
Jefe del Servicio Magnético, IGF
Objetivo y operación del Observatorio Geomagnético

12:00 H | Auditorio Tlayolotl
Dr. Ismael Herrera Revilla
TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM

¡Te invitamos al 1er ciclo 2026 de los Seminarios Institucionales del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGF-UNAM)!

Recuerda que los seminarios son tanto presenciales y online, y también puedes seguirlos por las redes sociales del IGF-UNAM: <https://www.geofisica.unam.mx/>



SEMINARIO INSTITUCIONAL 2026
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

Climatología de la capa de ozono estratosférico sobre la República Mexicana

MTRO. HÉCTOR R. ESTÉVEZ PÉREZ
Colaborador del Servicio Solarimétrico Mexicano, IGF

9 de junio de 2026 | 12:00 H.
Auditorio Tlayolotl-Dr. Ismael Herrera Revilla

Se entregará constancia
Regístrate AQUÍ
<https://luma.com/rzaj4yja>

TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM



SEMINARIO INSTITUCIONAL 2026
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

Climatología de la capa de ozono estratosférico sobre la República Mexicana

MTRO. HÉCTOR R. ESTÉVEZ PÉREZ
Colaborador del Servicio Solarimétrico Mexicano, IGF

9 de junio de 2026 | 12:00 H.
Auditorio Tlayolotl-Dr. Ismael Herrera Revilla

Se entregará constancia
Regístrate AQUÍ
<https://luma.com/rzaj4yja>

TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM

A Treasure Trove of Cambrian Fossils Rewrites the Story of Early Life

Roughly 540 million years ago, toward the start of the Cambrian Period, the planet was mostly ocean, and life was both alien and vaguely familiar. Small, phallic-looking worms rummaged through ocean-floor sediments while blind swimming beasts flung out whiplike tentacles to ensnare prey. Meanwhile, early versions of mollusks and sponges populated the seafloor as jellyfish floated above.

Shallow ocean waters and an increase in oxygen levels in Earth's atmosphere triggered what we call the Cambrian explosion: the first major blossoming of modern biodiversity. Life forms of increasing complexity filled the seas, providing the evolutionary foundations for nearly every phylum alive today.

Then, around 513.5 million years ago, came the Sinsk event, the first known mass extinction of the Phanerozoic, our current geologic eon. As Earth's tectonic plates shifted, huge volumes of volcanic gas and carbon dioxide transformed the atmosphere, sucking oxygen out of the oceans and devastating shallow-water environments.

By Marlowe Starling

<https://www.quantamagazine.org/a-treasure-trove-of-cambrian-fossils-rewrites-the-story-of-early-life-20260501/>



La fascinante historia de Hațeg, una antigua isla en medio de Europa donde todos los dinosaurios eran enanos

Hace 70 millones de años, en medio del mar de Tetis, existió una isla donde la evolución siguió sus propias reglas. Allí, los dinosaurios se encogieron, los pterosaurios se convirtieron en gigantes y un barón húngaro revolucionó la paleontología con una teoría que hoy es ley.

En el centro de la actual Rumanía, cerca de la localidad de Hațeg, se esconde una historia extraordinaria, la historia de un mundo perdido, una isla prehistórica que desafió todas las reglas conocidas sobre cómo debían ser los dinosaurios.

Franz Nopcsa, un barón húngaro nacido en 1877, fue el primero en darse cuenta de que algo extraño ocurría en aquellos terrenos. En 1897, cuando aún era un joven estudiante, comenzó a excavar en la cuenca de Hațeg y descubrió algo que no encajaba con lo que se sabía sobre los dinosaurios del final del Cretácico.

Los primeros fósiles fueron considerados erróneamente como del Mioceno temprano. Pero Nopcsa, con una intuición genial, supo que estaba ante algo mucho más antiguo y mucho más especial. Re-dató los restos como del Daniense, es decir, del final del Cretácico.

Foto del avatar. Por Antonio García 22 May, 2026

<https://www.labrujulaverde.com/2026/05/la-fascinante-historia-de-hateg-una-antigua-isla-en-medio-de-europa-donde-todos-los-dinosaurios-eran-enanos>



Representación artística de un Mutazegopteryx cazando un dinosaurio. Crédito: Mark Witton / Wikimedia Commons

Paleontology rocked by discovery of organic molecules in 66-million-year-old dinosaur bones

A stunning discovery inside dinosaur bones suggests traces of original proteins may have survived since the age of the dinosaurs.

Scientists have uncovered compelling evidence that dinosaur fossils may still contain traces of their original proteins, overturning a long-standing belief that fossilization destroys all organic material. In a remarkably well-preserved Edmontosaurus fossil from South Dakota, researchers detected remnants of collagen — the main protein found in bone — using advanced techniques including mass spectrometry and protein sequencing.

For decades, scientists believed dinosaur fossils were little more than mineralized rock, with any original biological material long since destroyed by time. But an extraordinary study centered on a remarkably preserved Edmontosaurus fossil is challenging that assumption in a major way.

Researchers led by the University of Liverpool uncovered strong evidence that traces of original organic molecules, including collagen, still exist inside dinosaur bones dating back roughly 66 million years. The discovery adds powerful new support to a controversial idea that has divided paleontologists for more than 30 years.

Date: May 14, 2026. Source: University of Liverpool

<https://www.sciencedaily.com/releases/2026/05/260514084421.htm>



Close-up of the hip bone of an Edmontosaurus. Credit: University of Liverpool

Rare 567-million-year-old fossils refine our understanding of early animal evolution

From butterflies to blue whales, corals and worms, Earth is home to an incredible diversity of animals. How all of these animals evolved from earlier, simpler ancestors is one of the most exciting stories in the history book of life on our 4.5 billion-year-old planet.

A new study, published in Science Advances, adds crucial information to this story. Led by Scott Evans, assistant curator of invertebrate paleontology at the American Museum of Natural History, it draws on rare 567-million-year-old fossils to show animal evolution may have started far earlier than previously thought.

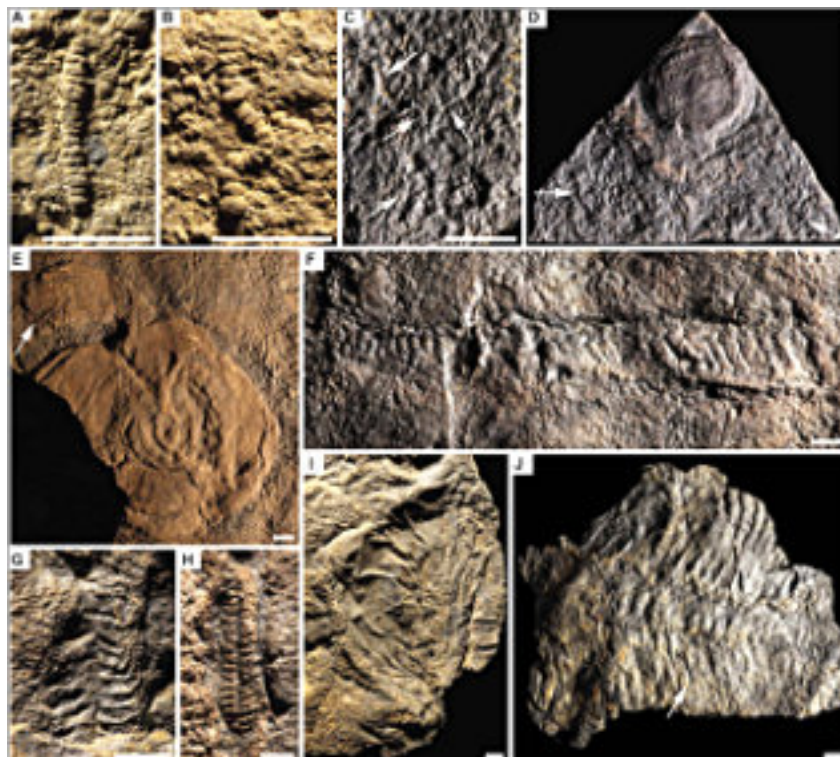
Ancient life on the seafloor

Long before life on land or even fish, Earth's seafloor was home to large and complex animals. Some of these soft-bodied and strange animals were shaped like pancakes. Others were more like soft tubes or spirals that pressed into the mud.

We call this time, from about 635 to 538 million years ago, the Ediacaran Period. Do animals from this period represent our ancient ancestors before the Cambrian explosion, which produced most of the basic groups of animals we know today? Or are they failed evolutionary experiments? To help us answer these questions, we divide the Ediacaran fossil record into three broad chapters: the Avalon, White Sea and Nama assemblages. Each represents a distinctive community of Ediacaran animals that tend to appear in different times and environments.

by Chris Kirkland, Anthony Clarke, The Conversation. edited by Lisa Lock, reviewed by Andrew Zinin

<https://phys.org/news/2026-05-rare-567millionyearold-fossils-refine-early.html>



Ediacaran fossils from the Blueflower Formation. Credit: Science Advances (2026). DOI: 10.1126/sciadv.aed9916.

Complex animal life may be 10 million years older than scientists thought — and a new fossil site in northwestern Canada suggests it all started in the deep sea, not the shallow waters where most early fossils show up

The standard cultural framing of where animal life originated has, for most of the last century, placed the origin in shallow water. The framing makes intuitive sense. The shallow seas are warm, sunlit, full of nutrients, and structurally accessible to the kinds of biological experimentation that complex multicellular life would have required. The deep ocean has tended to be treated, by contrast, as inhospitable, dark, cold, and structurally peripheral to the main evolutionary action. The framing has shaped, across decades of textbook narrative, how the public understands the transition from microbial life to recognizable animal life.

A new fossil discovery, published on May 20, 2026, in the journal Science Advances, has, on close examination, given the wider research community reason to revise this framing. The discovery, from a remote site in the Mackenzie Mountains of Canada's Northwest Territories, has produced direct fossil evidence that the earliest known complex animal life was, in some real way, living in deeper water than the standard framing had assumed. The implications are still being worked out by the wider research community. The implications, on the available evidence, are considerable.

By Daniel Moran · Editorial process. Published May 21, 2026

<https://spacedaily.com/d-complex-animal-life-may-be-10-million-years-older-than-scientists-thought-and-a-new-fossil-site-in-northwestern-canada-suggests-it-all-started-in-the-deep-sea-not-the-shallow-waters-where-m/>



Caverna del arte

Cuento: TESLA

La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada en Defensa y la Agencia Central de Inteligencia (CIA), crearon una mosca biónica, para ser utilizada en operaciones contra el terrorismo y espionaje internacional. El diseño de la mosca se basó en una estructura tecnológica propuesta por el Pentágono. Los científicos militares le implantaron chips, detectores digitales y electrónicos, así como, espectrómetros para analizar fluidos, y la dotaron con capacidad de visión nocturna. El diseño innovador, incluyó la instalación de un disco duro microscópico, con capacidad para varios peta bytes de memoria. A la mosca biónica, también se le dotó de dos micro motores nucleares que le permitían volar a miles de kilómetros por hora, rompiendo fácilmente la barrera del sonido (1,235.5 km/hora). Tenía la capacidad de desplazarse a cualquier punto de la tierra, en un máximo de 15 minutos, sin que le afectara la altitud o las bajas temperaturas. La Agencia militar designó a la mosca biónica con el nombre de “Tesla”.

Tesla se convirtió en la espía preferida del Pentágono, con una carrera de espionaje incomparable. La mosca biónica tuvo un papel decisivo en la derrota de los Talibanes en Afganistán, la derrota de Muamar Gadafi en Libia, y la guerra de Siria en contra del ISIS, entre otras. La tecnología más avanzada del mundo, le permitían a Tesla tener éxito en todas las operaciones de guerra, por difíciles que estas fueran, su prestigio era impresionante. La única flexibilidad que se le había dado a Tesla, era la libertad de poder actuar en situaciones imprevistas o cuando su vida estuviera en peligro. Dado a lo agitado de su vida profesional, Tesla nunca pensó en casarse o tener hijos. Su vida era muy sencilla, escuchaba música clásica, y practicaba yoga y meditación.

Aunque había sido entrenada con la más férrea disciplina militar, Tesla tenía una gran debilidad: su afición a coleccionar arañas, aun cuando la agencia de espionaje le había prohibido esta actividad. A través de los años, Tesla había logrado reunir 57,000 especies de arañas de todo el mundo. En realidad, la mosca biónica coleccionaba arañas para controlar su propia aracnofobia.

La siguiente misión de Tesla sería en Afganistán, siendo el objetivo principal los líderes del grupo Al-Qaeda, de quienes se sabía, se reunirían esa semana en una cueva en las montañas. La operación de la misión estaría bajo el control absoluto del Comando Militar del Pentágono, y consistiría en ir a dicha cueva, hacer un muestreo del ADN, grabar y transmitir en tiempo real, a través del sistema satelital militar de los Estados Unidos. Tesla llegó rápidamente a las montañas de Afganistán, y con su radar térmico, no tardó mucho en encontrar la cueva donde se reunían tres de los líderes de Al-Qaeda.

Utilizando su visión nocturna, bajó por un intrincado ramal de túneles subterráneos hasta llegar al lugar de la reunión. Lo primero que hizo, fue verificar que todos los equipos funcionaban a la perfección, no podía haber errores.

La primera tarea fue que tomase muestras de ADN de los tres líderes, así fue que se paró en el labio de uno de los líderes, mientras que este tomaba café, y tomó una muestra de sangre. Involuntariamente se asomó a la boca del terrorista y vio que tenía la garganta negra, por lo que hizo un escaneo, el mismo que mostró la presencia del virus del ébola. Al segundo jefe Talibán, quien era calvo, se le plantó en el cráneo, pero mientras extraía muestras de ADN, notó una mancha negra en su cuero cabelludo, por lo que realizó una resonancia magnética, el que dio como resultado la presencia de un melanoma maligno. Al tercer terrorista se le posó en el brazo, insertando su aguja microscópica para extraer sangre. Aprovechando esta muestra, hizo un análisis completo, donde se dio cuenta que el individuo tenía HIV. Los diagnósticos médicos eran un claro indicador de que los Talibanes allí reunidos, no serían líderes del grupo terrorista por mucho tiempo.

Tesla decidió colocarse en el techo de la cueva para tener las mejores imágenes tridimensionales de los terroristas, y escogió el lugar más oscuro para no ser vista. Todo estaba funcionando bien, pero al cabo de varios minutos, la transmisión empezó a fallar por motivos desconocidos. Los científicos en el Departamento de Guerra hacían lo imposible por mantener las comunicaciones, pero existía demasiada interferencia de sonidos y las imágenes eran borrosas. Lo que nadie había previsto, es que al posarse en la parte más oscura del techo de la cueva, Tesla lo había hecho al lado de un nido de la araña Camello, una de las arañas más venenosas del mundo. Ensimismada con sus actividades de transferencia digital de datos, la mosca biónica no se dio cuenta de que la araña ya la había envuelto completamente, y cuando lo hizo intentó volar, pero la densa y fuerte telaraña se lo impidió. Quiso saltar, pero sus piernas parecían soldadas a la roca de la cueva, y al sacudir su cuerpo, solo apresuró la hora del almuerzo de la araña. La carne, tejidos, y líquidos de Tesla constituyeron el succulento manjar de la Araña Camello.

Tesla, la maravillosa mosca biónica, la estrella del pentágono, y el orgullo tecnológico de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada en Defensa, simplemente se convirtió en parte de la cadena alimenticia.

Loco a veces

Story: TESLA

The Defense Agency for Advanced Research Projects (DARPA) and the Central Intelligence Agency (CIA) created a bionic fly to be used for counter-terrorism and international espionage operations. The design of the fly was based on a technological structure proposed by the Pentagon. Military scientists then implanted chips, digital and electronic detectors, as well as spectrometers to analyze fluids, and also gave the fly night vision capability. The innovative design included a microscopic hard disk with several petabytes of memory. They also gave the bionic fly two nuclear micro-motors that allowed it to fly thousands of miles per hour, easily breaking the sound barrier (761 mph), being capable of reaching anyplace on Earth in less than 15 minutes without being affected by altitude or low temperatures. The military named the bionic fly “Tesla”.

Tesla became the preferred spy of the Pentagon, and had an incomparable spying career. The bionic fly was instrumental in defeating the Taliban in Afghanistan, Moamar Ghaddafi in Libia, and in the war against ISIS in Syria, among others. The most advanced technology in the world allowed Tesla to succeed at all military operations, no matter how difficult, gaining impressive prestige. The only flexibility given to Tesla was the freedom to operate in unpredicted situations when its life was in danger. Given the agitated state of its professional life, Tesla never thought of marriage or having children. Its life was very simple. It listened to classical music, and practiced yoga and meditation.

Although having been trained with the strictest military discipline, Tesla had one great weakness; it’s love of collecting spiders, even though the CIA had prohibited this activity. Through the years Tesla had managed to collect 57,000 species of spiders from around the world. In reality, the bionic fly had collected all these spiders in order to control its own arachnophobia.

Tesla’s next mission was to Afghanistan with the main objective being the leadership of Al Queda whom it was known would meet that week in a mountain cave. The mission’s operations would be under strict control of the Pentagon Military Command, and it involved entering the cave, obtaining DNA samples, and recording and transmitting the proceedings in real time to a United States military satellite. Tesla quickly arrived at the mountains of Afghanistan, and with its thermal radar had no difficulty in finding the cave where the leaders of Al-Queda were to meet.

Using night vision, Tesla passed through the intricate underground branches of the cave and arrived at the meeting. The first thing it did was to verify that all of its equipment was functioning perfectly so that no errors would occur.

The first task was to take DNA samples of the three main leaders. It landed on the lip of one of the leaders while he was drinking coffee and took a blood sample. Involuntarily he looked into the terrorist’s mouth and saw that his throat was black. He did a scan, which showed the presence of ebola. He landed on the head of the second Taliban chief, who was bald, but while taking the sample for DNA he noted a black spot on his scalp and determined, with magnetic resonance, that it was a malignant melanoma. He landed on the arm of the third chief and inserted a microscopic needle to extract some blood. With this sample he did a complete analysis and found that this individual had AIDS. The medical diagnoses gave clear indications that the Taliban chiefs meeting there would not be leading the group for very long.

Tesla decided to fly up to the roof of the cave to obtain better 3D images of the terrorists, finding the darkest place in order not to be seen. All was functioning well, but after several minutes for an unknown reason the transmission began to fail. The scientists of the Defense Department did everything they could to maintain the

communication but there was too much interference with the sound, and the images were blurred. What no one had foreseen is that upon arriving at the roof of the cave, Tesla had landed in the lair of a Camel Spider, one of the most venomous spiders in the world. Concerned with the digital data transfer, the bionic fly didn’t realize that the spider had completely wrapped it up, and when it tried to fly away, the dense, strong web stopped it. It tried to jump, but its legs appeared to be welded to the rock, and the shaking of its body only hastened the spider’s lunch time. So Tesla’s flesh, tissues and liquids became the Camel Spider’s succulent dinner.

Tesla, the marvelous bionic fly, star of the Pentagon and technological pride of DARPA, had simply become part of the food chain.

Sometimes crazy

Translation by Always crazy

Línea del tiempo de la evolución geológica de México

En el desarrollo de las actividades prácticas de la asignatura de estratigrafía en el grupo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se tiene contemplada la construcción de una línea del tiempo que incluya los principales eventos geológicos de carácter mundial y específicos para el territorio de México, con el objetivo de que el estudiantado se vaya familiarizando en ubicar en el tiempo la evolución geológica de la región. El ejercicio promueve el desarrollo de la creatividad y síntesis de la información tratando de que el estudiantado lo asocie con una imagen significativa que le permita recordarlo a largo plazo. A continuación se muestra un ejercicio de la estudiante de Ingeniería Geológica: Jimena Itzel Ramírez Zavala, quien realizó las siguientes ilustraciones bajo la tutoría de Isabel Domínguez. **Agradecimientos:** Al Ing. Javier Arellano Gil por compartir el material que se utilizó como base para el desarrollo de la actividad y al Dr. Enrique Alejandro González Torres por apoyar en la actualización de las fechas de los eventos incluidos, profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Formación de Gondwana – ~550 Ma



Inicia rompimiento de Pangea – ~200 Ma



Jimena Itzel Ramírez Zavala Estudiante de la carrera en Ingeniería Geológica de la UNAM. Ha participado en la elaboración de cartografías para proyectos Estatales y corrección de textos, de manera conjunta para la empresa Defensegrid y Oleum.

Su área de interés profesional es la Geología Ambiental y uno de sus intereses profesionales/personales es la divulgación de las ciencias naturales para todas las edades.

jimenarz1@hotmail.com

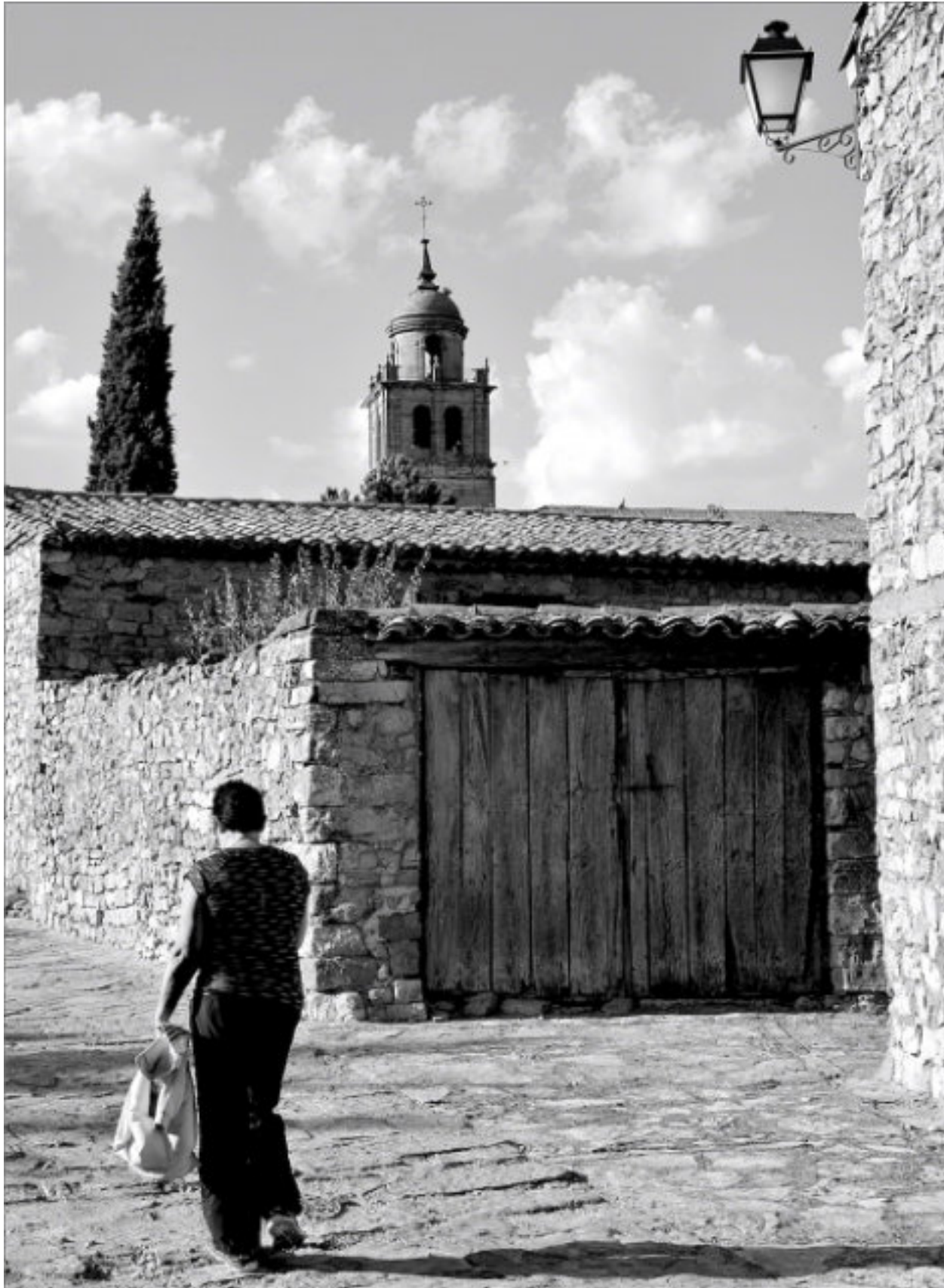


Isabel Domínguez Trejo Ingeniera Geóloga y Maestra en Ingeniería Petrolera y Gas Natural egresada de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Su línea de trabajo es el área de la Exploración de Hidrocarburos, ya que conjunta la aplicación de ramas de la Geología con la finalidad de comprender la evolución geológica de una región. Se dedica principalmente a la interpretación sísmica y de estratigrafía de secuencias enfocada en la industria petrolera.

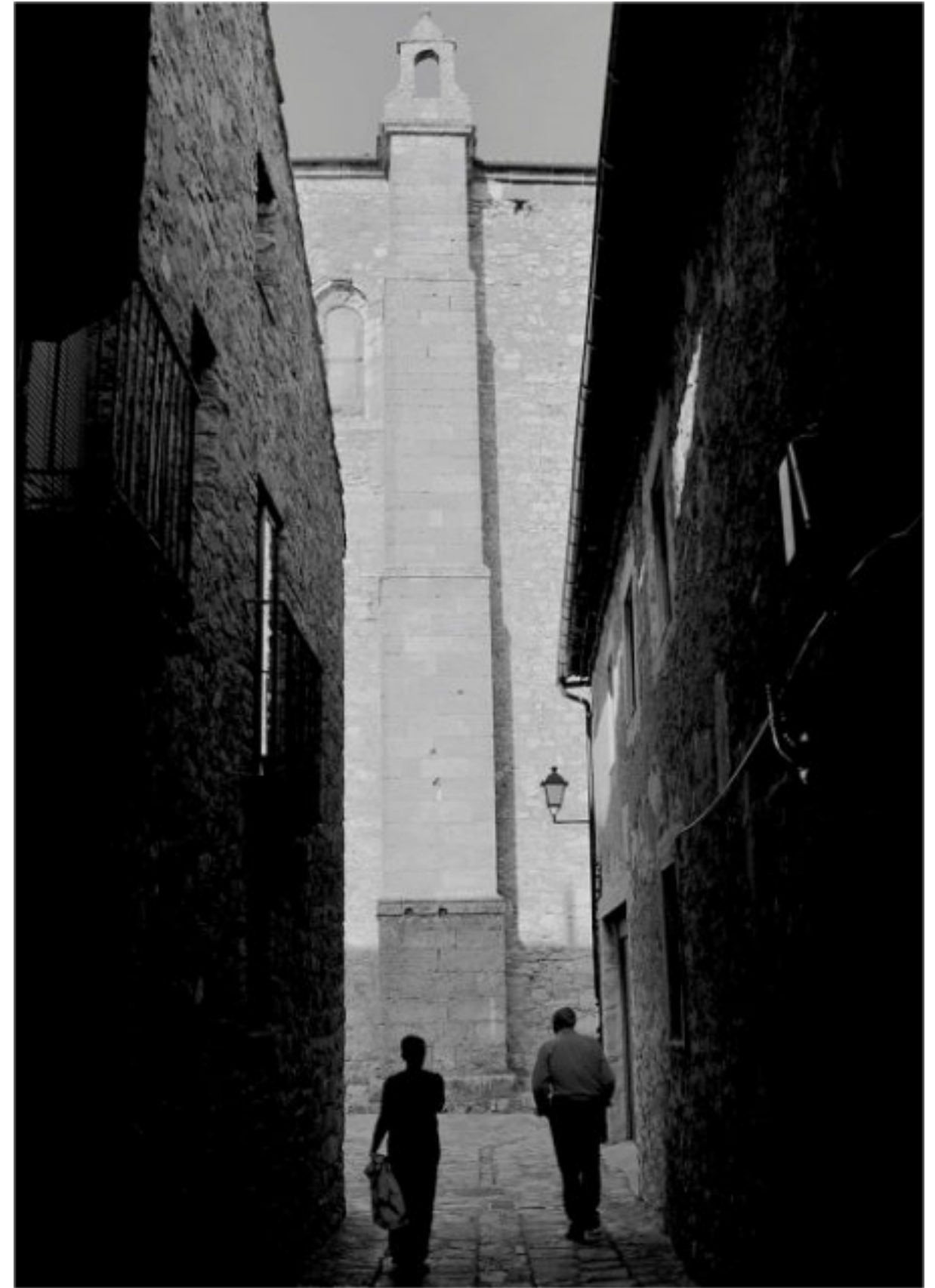
Desde 2013 es profesora en la Facultad de Ingeniería a nivel licenciatura para las carreras de Ingeniería Geológica y Geofísica, así como en la Especialidad de Exploración Petrolera y Caracterización de Yacimientos. Coordinadora de la carrera de Ingeniería Geológica en la Facultad de Ingeniería.

isabeldt@unam.mx

Fotografía de Gilda Yolid Muñoz.



Fotografía de Gilda Yolid Muñoz.



Campos de lavanda. Brihuega. Guadalajara. España. © Manuel Arribas Andrés.



Teton Mountains, Wyoming State, USA. Photo by Claudio Bartolini.

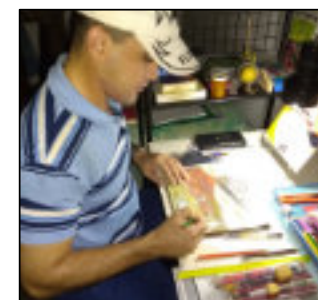
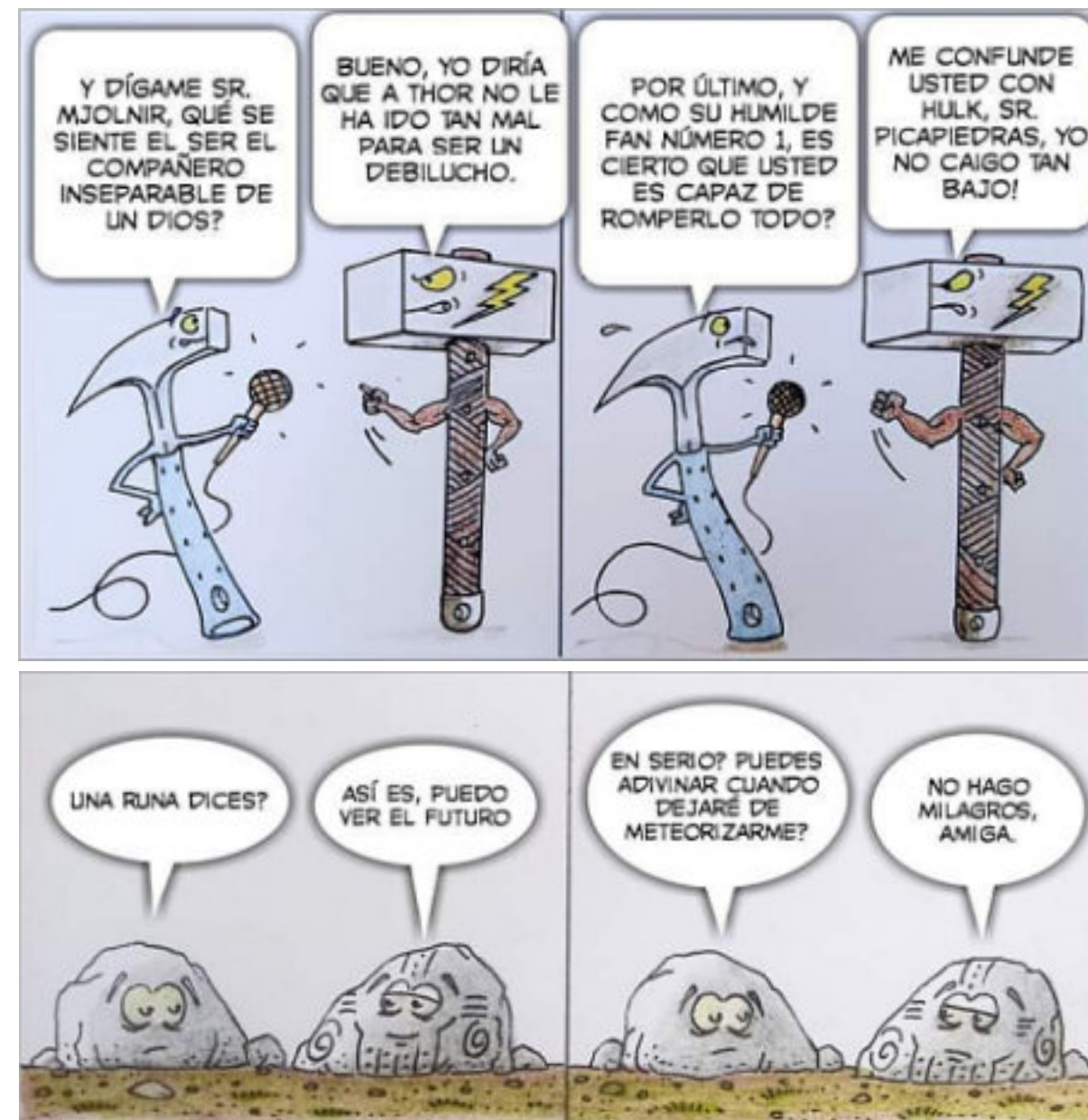




Abstract digital image by Claudio Bartolini - 2026.

Tu tiempo es limitado, de modo que no lo malgastes viviendo la vida de alguien distinto.

Steve Jobs



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

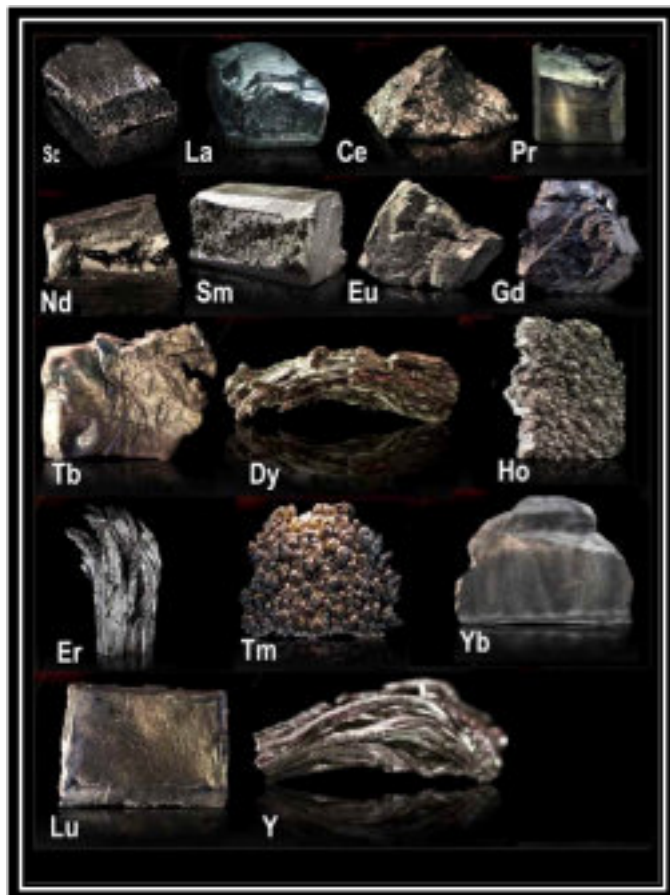
https://es.wikipedia.org/wiki/Tierras_raras

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/las-tierras-raras/>

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

<https://www.youtube.com/watch?v=QY0u8CZLSOI>

Compilado por **Uriel Franco Jaramillo**.



<https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/multimedia/WAV150110/021.jpg>

Samaria Gorge, Crete

White Mountains' National Park is the only national park in Crete. It centres around the Samaria gorge, at an altitude of 1,200m and continues down to Agia Roumeli, on the shores of the Mediterranean Sea. Along with the surrounding slopes and a number of smaller gorges branching off from it, Samaria Gorge forms the whole of the area designated as a national park, a status that offers protection to over 450 species of plant and animal, 70 of which are endemic to Crete. In the prefecture of Chania (also written "Hania"), the Samaria gorge is the longest in Europe (total length 16km), and one of the most impressive gorges in Greece. It starts from Xyloskalo, at an altitude of 1,230m. The width of the gorge is 150m at its widest point and 3m at its narrowest.

<https://www.samaria.gr/>

<https://www.britannica.com/place/Crete>

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

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

<https://lauradavis.net/greece-hiking-samaria-gorge/>

<https://www.west-crete.com/samaria-gorge-geology.htm>

<https://www.visitgreece.gr/experiences/nature/gorges/samaria-gorge/>

<https://www.lonelyplanet.com/articles/planning-hike-samaria-gorge-crete-greece>

<https://www.thehikinglife.com/2025/01/samaria-gorge-hiking-the-grand-canyon-of-the-mediterranean/>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas



Como parte de las actividades de difusión de nuestra revista de geociencias, tenemos una relación de buena fe y amistad con las escuelas, sociedades y asociaciones geológicas en otros países del mundo.

Instituto Nacional de Geoquímica
(México). <https://www.inageq.com/>



Sociedad Venezolana de Historia
de las Geociencias.
SVHGc@yahoo.com



Universidad Tecnológica de la Habana,
- <https://cujae.edu.cu/>

Escuela de Geofísica: <https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/>



Geología Médica

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



Asociación de Geólogos y Geofísicos
Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



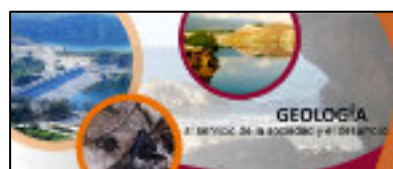
Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

<http://www.scg.cu/>



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica
del Cibao Oriental,
República Dominicana

<https://uteco.edu.do/>



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



Piezade Mayapán, Yucatán.INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA



¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

luis.valencia.11@outlook.com; bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu