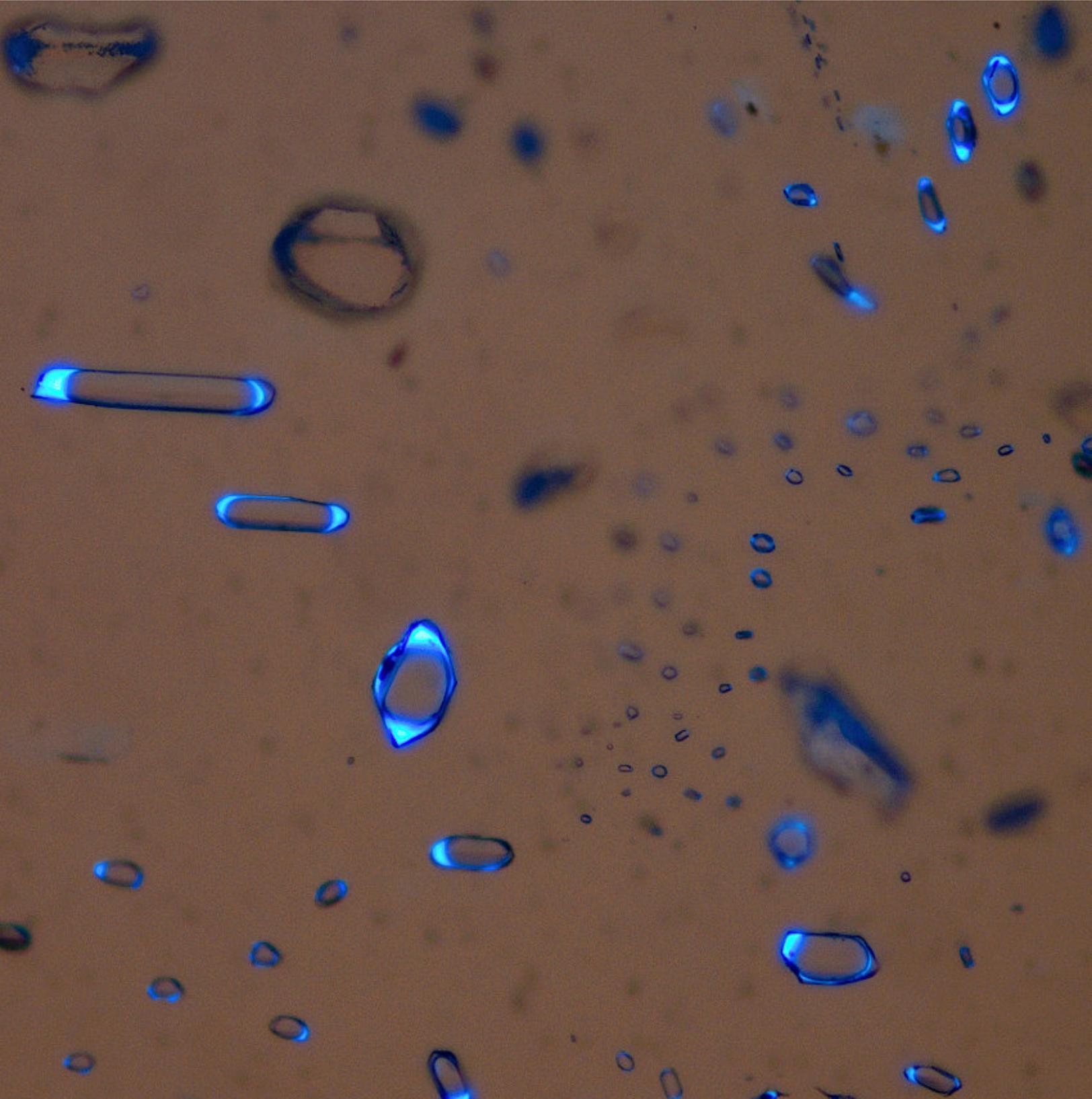


**JUNIO
2022**



MAYYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



JUNIO
2022



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 cual 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 comuníquese 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: Secondary hydrocarbon-bearing gas rich fluid inclusions trapped within healed fractures in hydrothermal megaquartz. Picture taken with combined transmitted polarized and UV epi-illumination. Image by Jordi Tritlla.

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 divulgación
Geocientífica

EDITORES



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

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

luis.valencia.11@outlook.com



Bernardo García-Amador es candidato a doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su pasión es entender las causas y consecuencias de la tectónica. Actualmente se encuentra en proceso de graduarse del doctorado, con un trabajo que versa en la evolución tectónica de Nicaragua (Centroamérica). Además imparte el

curso de tectónica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Recientemente Bernardo ha publicado parte de su trabajo de doctorado en las revistas *Tectonics* y *Tectonophysics*, además de ser coautor de otros artículos científicos de distintos proyectos.

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu



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

2002 on exploration projects in Mexico. He has been a member of HGS since 1980 and AAPG since 1981, and currently does geology from his home in Granbury, Texas.

jhrosenfeld@gmail.com



Claudio Bartolini (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio is 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



Salvador Ortuño Arzate received his M. Sc. from the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and his Ph.D. from the Université de Pau and Pays de l'Adour (UPPA) in France. He has been a researcher at the Instituto Mexicano del Petróleo and the Institut Français du Pétrole, focusing his work on the Exploration Petroleum field. Salvador has published several papers and a book, "El Mundo del Petróleo" (Petroleum's world),

examining and shedding light on the history of petroleum and the implications for the society. Also, he has worked as an advisor for several universities and national corporations. Lastly, he has served as faculty and has taught different courses at the Secretariat of National Defense and at the Engineering School of U.N.A.M.

soaortuno@gmail.com



El ingeniero cubano **Humberto Álvarez Sánchez** culmina 54 años como geólogo. Realizó estudios en la Cordillera de Guaniguanico y en su premontaña y en los macizos metamórficos, volcánicos y ofiolíticos de Cuba central. Autor de 18 formaciones y litodemas de la estratigrafía cubana. Descubridor del único depósito industrial de fosforitas marinas de Cuba. Miembro de la subcomisión Jurásico del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. Como Country Manager y Senior Geologist de compañías canadienses, panameñas y de Estados Unidos, dirigió exploraciones en complejos del Paleozoico-Mesozoico en tres Estados de

Brasil, en los greenstone belts de Uruguay; Andes de Perú y complejos volcánicos de Honduras y Panamá y otros países. Miembro de la Comisión Ministerial "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá, fue Consultor Senior del Banco Interamericano de Desarrollo para el proyecto geocientífico del país. Formely Miembro del Consejo Científico de Geology Without Limits. Formerly Representante para América Central del Servicio Geológico de la Gran Bretaña. Retirado en Panamá, se ocupa de redactar estudios sobre la geología de Cuba.

geodoxo@gmail.com



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

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



Marisol Polet Pinzón Sotelo es Ingeniera Geóloga egresada de la Universidad Autónoma de Guerrero y Maestra en Ciencias Geológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León; ha colaborado en proyectos de investigación en el noroeste de México, siendo autora y coautora de publicaciones científicas; cuenta con 8 años

de experiencia en exploración de hidrocarburos en PEMEX Exploración y Producción. Se ha desarrollado en el modelado de sistemas petroleros en Proyectos de aguas profundas y someras en el norte del Golfo de México.

poletpinzon@gmail.com



José Antonio Rodríguez Arteaga es un ingeniero geólogo con 31 años de experiencia en investigación de geología de terremotos y riesgo geológico, asociado o no a la sismicidad. Es especialista en sismología histórica e historia de los sismos en Venezuela, recibiendo entrenamiento profesional en Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos, Bogotá, Colombia. En sus inicios profesionales y por 5 años consecutivos, fue geólogo de campo, trabajando en prospección de yacimientos minerales no- metálicos en la región centro

occidental de Venezuela. Tiene en su haber como autor, coautor o coordinador, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX, al pensamiento sismológico venezolano y un Atlas geológico de la región central del país, preparado de manera conjunta con la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. 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



Rafael Guardado es graduado en la Universidad de Oriente en 1970 como Ingeniero Geólogo. Cursó estudios de especialización en la Universidad Minera de St Petersburgo en Rusia, antigua U.R.S.S., 1972-1974. Defendió el doctorado en Geología en 1983. Es Académico Titular de la Academia de Ciencias de Cuba, Profesor Titular, Profesor Consultante y Profesor Emerito de la Universidad De Moa. Orden

Carlos J. Finlay. Ha publicado más de 70 artículos, y es Tutor de tesis de Doctorado y maestrías. Ha recibido múltiples premios y distinciones, y es un profesor reconocido en Cuba y el exprenjero en la Ingeniería Geológica, la Reducción de los Riesgos Geológicos y el enfrentamiento al Cambio Climático.

rafaelguardado2008@gmail.com



Jon Blickwede egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts, EEUU con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en 1979, donde hizo su tesis de Maestría en Geología sobre la Formación Nazas en la Sierra de San Julián, Zacatecas, México. Jon comenzó su carrera en 1981, trabajando por 35 años como geólogo de exploración petrolera para varias compañías tal como Amoco, Unocal, y Statoil. Realizó

proyectos de geología sobre EEUU, México, Centroamerica y el Caribe para estas empresas. Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC (www.teyrageo.com), donde está realizando un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes tomados con su drone, integrados con otros datos geoespaciales.

jonblickwede@gmail.com



Saúl Humberto Ricardez Medina es pasante de Ingeniería Geológica, miembro activo del capítulo estudiantil de la AAPG del Instituto Politécnico Nacional, participó en el X Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra como Expositor del trabajo “Análisis de Backstripping de la Cuenca Salina

del Istmo”. Actualmente, se encuentra trabajando en su tesis de licenciatura relacionada a identificar y reconocer secuencias sedimentarias potencialmente almacenadoras de hidrocarburos en las cuencas del sureste.

ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com



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

tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

diegogabriel807@gmail.com



Uriel Franco Jaramillo, es estudiante de noveno semestre en la carrera de Ingeniería Petrolera en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, sus principales áreas de interés son la simulación matemática de yacimientos y la conducción, el manejo y el transporte de

hidrocarburos. Actualmente está prestando su servicio social como colaborador en la Revista Maya de Geociencias.

urielfranco.unam@gmail.com

*Nuestro agradecimiento a **Manuel Arribas**, 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. <https://manuelarribas.es/>*

Visítanos en Mexico Petroleum Geoscience

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



CONTENIDO JUNIO 2022

Semblanzas.....	8
Pioneros de las Geociencias.....	12
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	16
Los libros recomendados.....	22
Temas de interés.....	24
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	42
Notas geológicas.....	46
Misceláneos	
La Casa de los desiertos.....	72
Nueva Revista de Geociencias.....	73
Tesis selectas presentadas en el Poli en 2021.....	74
Caverna del arte.....	75
Pingualuit Crater Lake, Québec.....	77
Glosario de términos geológicos.....	78
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	79
Fotografía abstracta-paisaje.....	80
Que es el IODP.....	82
Asociaciones geológicas hermanas.....	84

SEMBLANZAS

Erwin Raisz: (1893 - 1968)

Erwin Raisz and His Wonderful Landform Maps

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

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

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



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

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

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

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

Compiled by Jon Blickwede
jonblickwede@gmail.com



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

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

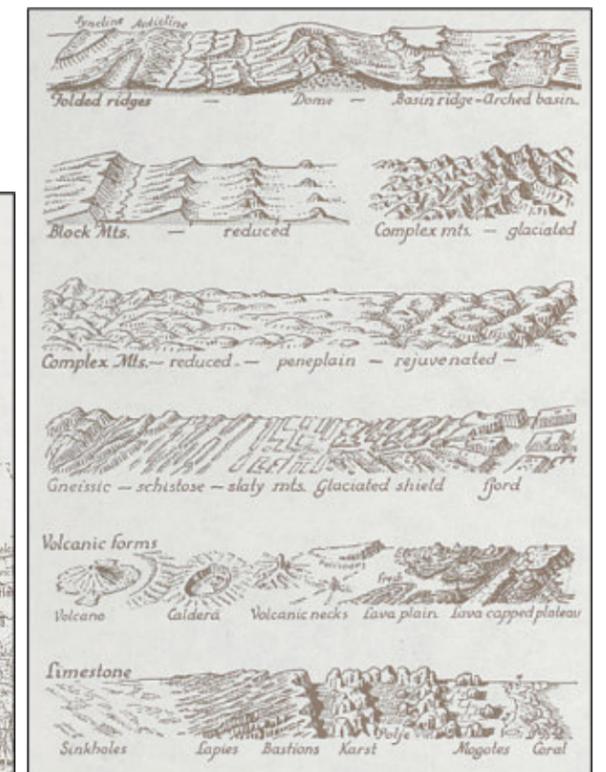
Raisz, E.J., 1929, The scenery of Mt. Desert Island: its origin and development: *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 31, p. 121-186

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

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

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

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



Andrzej Brunon Pszczółkowski

Por Humberto F. Álvarez Sánchez

Colaborador de la Revista Maya
geodexo@gmail.com

El Doctor Andrzej Pszczółkowski, Profesor emérito del Instituto de Ciencias Geológicas de la Academia de Ciencias de Polonia, nació el 18 de Abril de 1940 en la ciudad de Bydgoszcz; capital del voivodato de Cuyavia y Pomerania en el norte de Polonia. En 1963 recibió la Maestría en Ciencias en estratigrafía y geología regional en la Facultad de Geología de la Universidad de Varsovia. Su actividad geológica temprana comienza en la década de los 60ta, dedicada a los Montes Tatra, así como estudios en los Carpatos exteriores ("Cárpatos del flysch") y los icnofósiles del Triásico y Jurásico de los márgenes de Góry Świętokrzyskie (Sierra de Santa Cruz) en la parte central de Polonia. En 1969 recibe su grado de Doctor Ph.D., por el Departamento de Ciencias Geológicas de la Academia de Ciencias de Polonia, más tarde Instituto de Ciencias Geológicas de la Academia Polaca de Ciencias; integrado a su personal científico desde 1968 a 2010. Doctor habilitado por la Universidad de Varsovia en 1979 y en 1992 el Doctor Pszczółkowski, recibió el título científico superior de Profesor por el Instituto de Ciencias Geológicas de la Academia de Ciencias de Polonia.

En 1970 pasó a formar parte del equipo de cartógrafos, seleccionado para realizar el proyecto internacional co-ejecutado por la Academia de Ciencias de Polonia y la Academia de Ciencias de Cuba, destinado a la preparación del Mapa Geológico de Cuba en la escala 1:250.000. A partir de 1971 y hasta 1975 se dedicó a la cartografía del mapa geológico de la Provincia de Pinar del Río (escala 1:250.000).

Mediante la ejecución de este proyecto, junto a numerosos especialistas cubanos, se realizó un voluminoso trabajo científico y se crearon muchos nuevos materiales cartográficos del territorio, incluyendo la unificación de la estratigrafía, nuevos mapas de la tectónica, numerosos perfiles estructurales sobre las particularidades estructurales de la Cordillera de Guaniguanico, así como miles de determinaciones micropaleontológicas y macrofaunísticas. De este modo para 1975, la Expedición polaco-cubana que ejecutó el proyecto, redactó el informe final de los resultados para la



Montes Tatra. Cordillera de los Carpatos de Polonia.

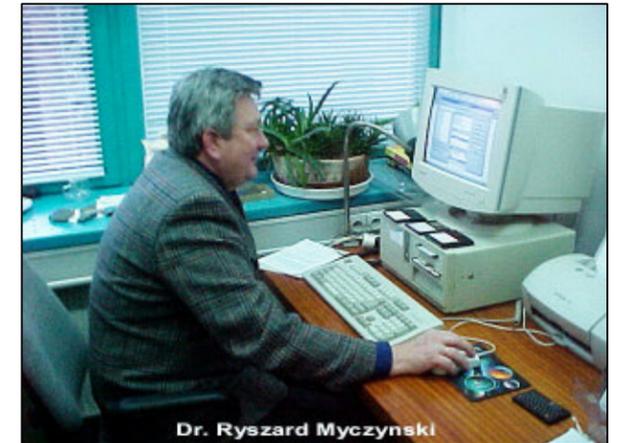
Provincia de Pinar del Río de Cuba occidental, de cuyo informe final el Doctor Pszczółkowski fue el autor principal. Durante 1977 recibió un entrenamiento en teledetección en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (Reston y Flagstaff, Arizona) y en 1978 regresó a Cuba, como miembro del equipo cartográfico polaco-cubano para realizar el mapa geológico de la provincia de Matanzas, también a escala 1:250 000.

Entre 1980 y 1991 continuó sus estudios de estratigrafía y tectónica del occidente de Cuba; como asesor, del Instituto de Geología y Paleontología de la Republica de Cuba, junto a otros colaboradores científicos cubanos. Como colaborador extranjero de la Comisión del Léxico Estratigráfico de Cuba en la primera edición de 1992; el Dr. Pszczółkowski es autor original de seis unidades litoestratigráficas de la categoría de Formación; la redefinición de tres unidades de la misma categoría y del Grupo Viñales de la estratigrafía clásica de Cuba; así como de la autoría de cinco unidades en la categoría litoestratigráfica de Miembros, pertenecientes a varias Formaciones del occidente de Cuba; unidades en su totalidad formalmente descritas en la más reciente edición del Léxico Estratigráfico de Cuba (2013). El Doctor Pszczółkowski es Coautor del Mapa Geológico de Cuba, a escala 1:250 000 y del Mapa Tectónico de Cuba a escala 1:500 000.

A partir de 1986 participó en importantes investigaciones en los Cárpatos de Polonia. En los años 1994-1997 realizó la bioestratigrafía detallada de los depósitos del Jurásico Superior (Tithoniano) y el Cretácico Inferior (Berriasiano-Valanginiano) en relación con los calpionellidos de la Sierra de Tatras; en el extremo sur de Polonia. Durante los años 2000-2002 el Profesor Pszczółkowski se dedicó al estudio de los conjuntos de nannoconidos del Cretácico Inferior (Berriasiano-Hauteriviano) en la parte occidental de la Sierra de Tatras. En 2002 comenzó el estudio bioestratigráfico de las calizas del Tithoniano-Cretácico Inferior con los microfósiles (calpionélidos y nanocónidos) en la Faja de Klippes en Pieniny (Pieniny Klippen Belt southern Poland). Los resultados del estudio fueron publicados, junto con el Doctor Ryszard Myczyński en el año 2004.

En 2003-2006, como bioestratígrafo, formó parte en la investigación de magnetoestratigrafía y registro isotópico $\delta^{13}C$ en la Sierra de Tatras en Polonia y Eslovaquia y participó en el estudio del equipo hungaro-polaco de magnetoestratigrafía y bioestratigrafía del intervalo límite Jurásico-Cretácico en Hungría (el corte Lókút); cuyos resultados se publicaron en 2007 y 2008. En 2009-2010, realizó la investigación de los nannoconidos del Aptiano en la Sierra de Tatras, así como, en la Faja de Klippes en Pieniny. Los resultados del mencionado estudio estratigráfico fueron publicados en 2015. Las bacterias fósiles del Jurásico Superior han sido caracterizadas en el corte (hipoestratotipo) de la Formación de la Caliza de Raptawicka Turnia (Sierra de Tatras). Sus probables

afinidades con las bacterias contemporáneas y el paleoambiente fueron analizados en una publicación de 2018.



El Doctor Pszczółkowski es autor y coautor de 85 publicaciones científicas, varias de ellas sobre geología de Cuba y ha recibido premios y distinciones por su destacada actividad científica; entre ellos: Premio del Ministro de Ciencia, Educación Superior y Tecnología, 1973. Premio Wawrzynca Teisseyre (Facultad VII de la Academia Polaca de Ciencias), 1979. Premio de la División de Geociencias y Minería de la Academia de Ciencias de Polonia. 1979. Premio de la Secretaría de Ciencias de la Academia Polaca de Ciencias, 1983. Desde 2009 el nombre del Profesor Pszczółkowski está inscrito en el El Libro de Oro de las Ciencias Naturales de Polonia (Złota Księga Nauk Przyrodniczych).

Researchgate: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Andrzej-Pszczolkowski-72990214>

El Profesor Pszczółkowski fue Miembro de la Sociedad Geológica de Polonia y Miembro Honorario de la Sociedad Geológica de Cuba, distinción otorgada en 1988 por los extraordinarios aportes científicos a la geología de Cuba. En 2011 le fue otorgado el Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba en colectivo.



PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

Alexander Von Humboldt (1769-1859)

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

Early life

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

A year spent at the University of Göttingen, from 1789 to 1790, finally opened the world of science to him; he



became particularly interested in mineralogy and geology and decided to obtain a thorough training in these subjects by joining the School of Mines in Freiberg, Saxony, the first such establishment. Although founded only in 1766, the school had already acquired an international reputation. There, buttressed by a prodigious memory and driven by an unending thirst for knowledge, he began to develop his enormous capacity for work. After a morning spent underground in the mines, he attended classes for five or six hours in the afternoon and in the evening scoured the country for plants.

He left Freiberg in 1792 after two years of intensive study but without taking a degree. A month later he obtained an appointment in the Mining Department of the Prussian government and departed for the remote Fichtel Mountains in the Margraviate of Ansbach-Bayreuth, which

had only recently come into the possession of the Prussian kings. Here Humboldt came into his own; he traveled untiringly from one mine to the next, reorganizing the partly deserted and totally neglected pits, which produced mainly gold and copper. He supervised all mining activities, invented a safety lamp, and established, with his own funds, a technical school for young miners. Yet he did not intend to make mining his career.

Expedition to South America

The conviction had grown in Humboldt that his real aim in life was scientific exploration, and in 1797 he resigned from his post to acquire with great single-mindedness a thorough knowledge of the systems of geodetic, meteorological, and geomagnetic measurements. The political upheavals caused by the Napoleonic Wars prevented the realization of several scientific expeditions in which Humboldt had been given an opportunity to participate. At last, dispirited by his disappointments but refusing to be deterred from his purpose, he obtained permission from the Spanish government to visit the Spanish colonies in Central and South America. These colonies were then accessible only to Spanish officials and the Roman Catholic mission. Completely shut off from the outside world, they offered enormous possibilities to a scientific explorer. Humboldt's social standing assured him of access to official circles, and in the Spanish prime minister Mariano de Urquijo he found an enlightened man who supported his application to the king for a royal permit. In the summer of 1799 he set sail from Marseille accompanied by the French botanist Aimé Bonpland, whom he had met in Paris, then the liveliest scientific centre in Europe. The estate he had inherited at the death of his mother enabled Humboldt to finance the expedition entirely out of his own pocket. Humboldt and Bonpland spent five years, from 1799 to 1804, in Central and South America, covering more than 6,000 miles (9,650 km) on foot, on horseback, and in canoes. It was a life of great physical exertion and serious deprivation.

Starting from Caracas, they traveled south through grasslands and scrublands until they reached the banks of the Apure, a tributary of the Orinoco River. They continued their journey on the river by canoe as far as the Orinoco. Following its course and that of the Casiquiare, they proved that the Casiquiare River formed a connection between the vast river systems of the Amazon and the Orinoco. For three months Humboldt and Bonpland moved through dense tropical forests, tormented by

clouds of mosquitoes and stifled by the humid heat. Their provisions were soon destroyed by insects and rain; the lack of food finally drove them to subsist on ground-up wild cacao beans and river water. Yet both travelers, buoyed up by the excitement provided by the new and overwhelming impressions, remained healthy and in the best of spirits until their return to civilization, when they succumbed to a severe bout of fever.

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

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

Humboldt and Bonpland returned with an immense amount of information. In addition to a vast collection of new plants, there were determinations of longitudes and latitudes, measurements of the components of Earth's geomagnetic field, and daily observations of temperatures

and barometric pressure, as well as statistical data on the social and economic conditions of Mexico. Whenever Humboldt had found himself in a centre of commerce in America, he had sent off reports and duplicates of his collections to his brother, Wilhelm, who had become a noted philologist, and to French scientists; unfortunately, the continental blockade then enforced by British ships prevented the greater part of his mail from reaching its destination.

Professional life in Paris of Alexander von Humboldt

The years from 1804 to 1827 Humboldt devoted to publication of the data accumulated on the South American expedition. With the exception of brief visits to Berlin, he lived in Paris during this important period of his life. There he found not only collaborators among the French scientists—the greatest of his time—but engravers for his maps and illustrations and publishers for printing the 30 volumes into which the scientific results of the expedition were distilled. Of great importance were the meteorological data, with an emphasis on mean daily and nightly temperatures, and Humboldt's representation on weather maps of isotherms (lines connecting points with the same mean temperature) and isobars (lines connecting points with the same barometric pressure for a given time or period)—all of which helped lay the foundation for the science of comparative climatology. Even more important were his pioneering studies on the relationship between a region's geography and its flora and fauna, and, above all, the conclusions he drew from his study of the Andean volcanoes concerning the role played by eruptive forces and metamorphosis in the history and ongoing development of Earth's crust. These conclusions disproved once and for all the hypothesis of the so-called Neptunists, who held that the surface of Earth had been totally formed by sedimentation from a liquid state. Lastly, his Political Essay on the Kingdom of New Spain contained a wealth of material on the geography and geology of Mexico, including descriptions of its political, social, and economic conditions, and also extensive population statistics. Humboldt's impassioned outcry in this work against the inhumanities of slavery remained unheard, but his descriptions of the Mexican silver mines led to widespread investment of English capital and mining expertise in the mines.

Starting from Caracas, they traveled south through grasslands and scrublands until they reached the banks of the Apure, a tributary of the Orinoco River. They continued

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

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

In 1829 Humboldt was given the opportunity to visit Russia and Siberia. On the initiative of the Russian minister of finance, Count Yegor Kankrin, he was invited to visit the gold and platinum mines in the Urals, as an adviser to the government on the techniques and organization of mining. But Humboldt had to pledge himself to refrain from commenting on the political situation of the country whose despotism he abhorred. This expedition, lasting only one summer, was very different from the South American journey; the members, Humboldt and two young scientists, were accompanied throughout by an official guard, since they were guests of the tsar. Humboldt and his companions had to endure tiresome receptions at the imperial court and in the homes of provincial governors. They traveled in carriages as far as the Altai Mountains and the Chinese frontier. The resulting geographical, geological, and meteorological observations, especially those regarding the Central Asian regions, were of great importance to the Western world, for Central Asia was then to a large degree unknown territory.

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

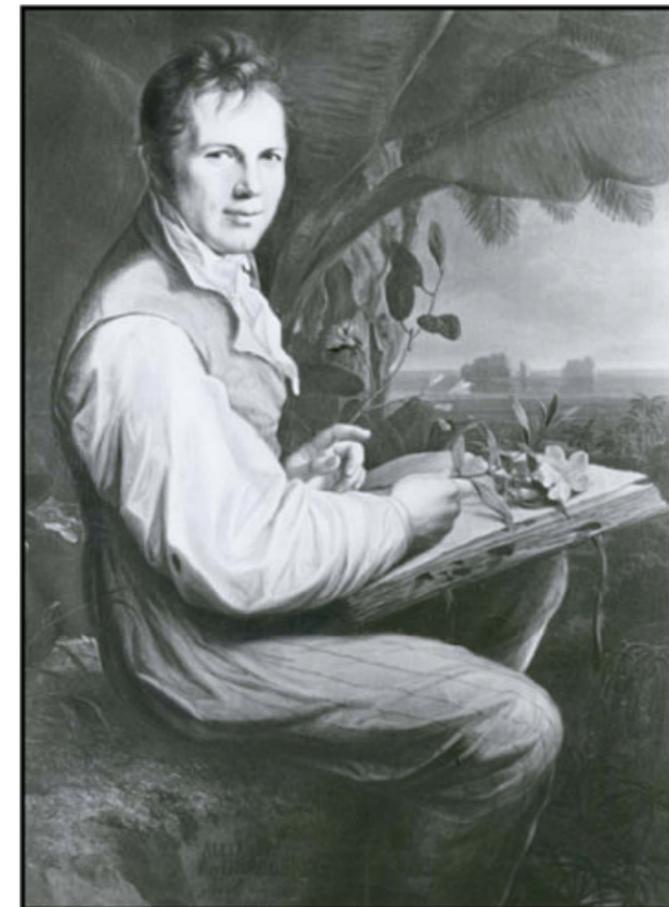
Even before his visit to Russia, he had returned to an investigation of a phenomenon that had aroused his interest in South America: the sudden fluctuations of Earth's geomagnetic field—the so-called magnetic storms. With the help of assistants, he carried out observations of the movement of a magnetometer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

Sabine later succeeded in correlating the appearance of magnetic storms in Earth's atmosphere with the periodically changing activity of sunspots, thus proving the extraterrestrial origin of the storms.

During the last 25 years of his life, Humboldt was chiefly occupied with writing *Kosmos*, one of the most ambitious scientific works ever published. Four volumes appeared during his lifetime. Written in a pleasant, literary style, *Kosmos* gives a generally comprehensible account of the structure of the universe as then known, at the same time communicating the scientist's excitement and aesthetic enjoyment at his discoveries. Humboldt had taken immense pains to discipline his inclination to discursiveness, which often gave his writing a certain lack of logical coherence. He was rewarded for his effort by the success of his book, which, within a few years, had been translated into nearly all European languages.

While still working on the fifth volume of *Kosmos* with hardly diminished vitality and enthusiasm and with an unimpaired memory, Humboldt died in his 90th year.

Source: Britannica.com: Charlotte L. Kellner



PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

José Luis Uc Castillo

ESTUDIO DE LA RECARGA HÍDRICA EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO DE LA SIERRA DE SAN MIGUELITO (CVSSM), MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIADA

INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C. (IPICYT).

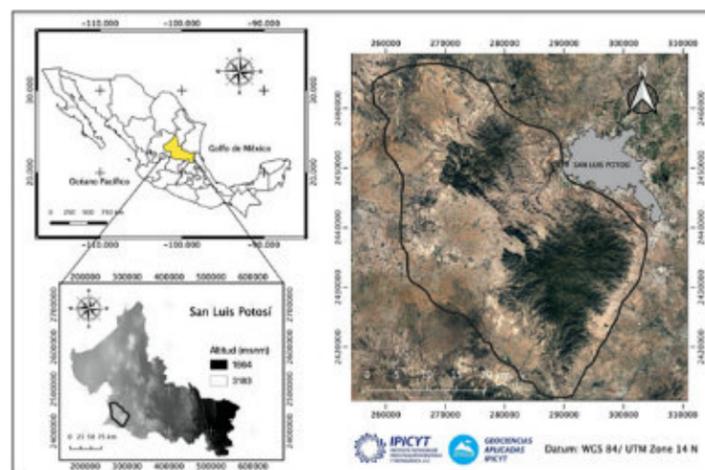
Tesis para obtener el grado de Maestro en Geociencias Aplicadas, Octubre 2020

Directora de tesis: *Dra. Ana Elizabeth Marín Celestino.*

Resumen.

Las zonas de recarga hídrica son fuentes principales de agua dulce y juegan un papel importante en el ciclo hidrológico, permitiendo la conservación, la preservación, renovación y el aprovechamiento del agua. El CVSSM ha sido considerado como zona de recarga hacia acuífero profundo en el Valle de San Luis Potosí; sin embargo, actualmente no existen estudios suficientes y robustos que lo confirmen. El objetivo del trabajo fue determinar si el CVSSM funciona o no como una zona de recarga hídrica, aplicando Técnicas Estadísticas Multivariadas: análisis de correlación, análisis de clúster (AC) y análisis de componentes principales (ACP). Se integró una matriz de datos con 66 puntos de estudio y 12 variables (altitud, pendiente, temperatura, tipo de suelo, tipo de vegetación, precipitación, geología, humedad relativa, ETP, uso de suelo, coeficiente de escurrimiento y conductividad hidráulica). Las variables fueron determinadas en cada punto de estudio a través de cálculos, estimaciones y superposición de capas en un SIG. El análisis de correlación mostró altas correlaciones tanto positivas como negativas entre las variables climáticas: ETP, temperatura, humedad y precipitación, mientras que la geología fue la variable no climática que más se correlacionó con otras, resaltando su importancia en el área de estudio. El CA por K-medias clasificó los puntos de estudio en tres grupos, donde el clúster 2 presentó un potencial de recarga debido a la composición geológica (aluvión) y al uso de suelo (agrícola); sin embargo, factores como la alta ETP, temperatura y baja humedad están limitando este hecho, mientras que en el clúster 1 y 3 la recarga se encuentra limitada por variables como la geología, la altitud y la pendiente, y la infiltración podría verse favorecida por las fallas presentes en el área de estudio. El ACP reveló que variables como la conductividad hidráulica, la precipitación y la humedad pueden favorecer la infiltración, mientras que la recarga se ve limitada por las unidades geológicas presentes en la zona de estudio, los altos niveles de ETP y de temperatura. Por otro lado, se analizaron y relacionaron Tomografías de Resistividad Eléctrica (TRE), indicando que la combinación de la vegetación y la geología en las partes altas de la SSM juega un papel importante en la infiltración superficial, reafirmando la existencia de un flujo subhipodérmico. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que dadas las condiciones climáticas y geológicas del CVSSM, este no funcionaría de manera óptima como zona de recarga hacia el acuífero profundo; sin embargo, cumple con otros procesos ecológicos de importancia como la existencia de un flujo subhipodérmico que puede contribuir al llenado de bordos y presas, así como al soporte de otros servicios ecosistémicos. Los resultados contribuirán a la óptima protección, conservación y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en el Valle de San Luis Potosí.

Figura 1.1. - . Localización del área de estudio en el CVSSM.



Caracterización sísmica de lahares en la barranca Montegrando, Volcán de Colima

Universidad Nacional Autónoma De México.

Tesis que para optar por el grado de Maestra en Ciencias de la Tierra, 2022

Sustentante: **Judith Ivonne Martínez Valdés**

Tutor: *Dr. Víctor Hugo Márquez Ramírez.*

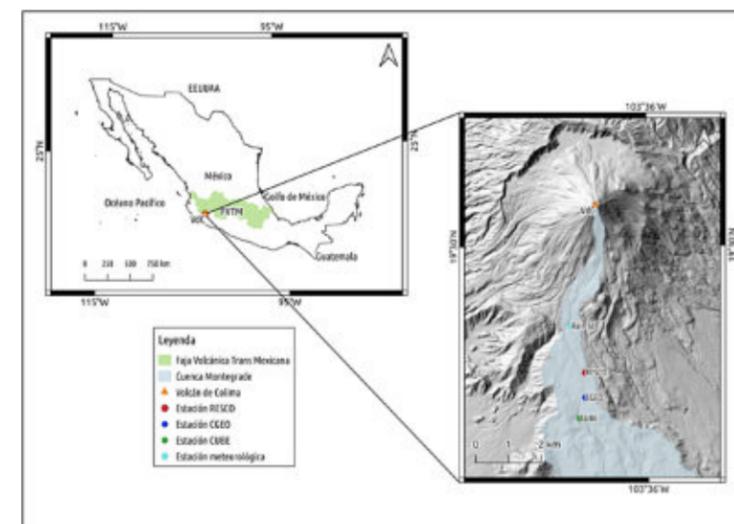
Resumen.

El Volcán de Colima es el volcán más activo de México, representa una amenaza para más de 300,000 personas que habitan en un radio de 30 km. Actualmente se encuentra en una etapa de desgasificación pasiva, sin embargo, la generación anual de lahares es persistente. Los lahares representan la mayor amenaza en los períodos de quietud. Además, la generación de lahares se intensifica después de periodos de actividad eruptiva ya que se provee de material suelto a las laderas volcánicas. La última crisis volcánica ocurrió en julio del 2015 con el colapso parcial del domo somital del volcán. Los productos de esta erupción fueron depositados a lo largo de la barranca Montegrando (al sur del volcán) y la parte alta de la barranca San Antonio (al suroeste del volcán). Estos productos modificaron considerablemente la barranca Montegrando, cambiando la morfología y suministrando grandes cantidades de material suelto.

En el año 2018 durante la temporada de lluvias (Mayo-Octubre) 17 lahares fueron registrados por tres estaciones, en la barranca Montegrando. Siete de los diecisiete eventos cuentan con la mayor cantidad de datos sísmicos, acústicos, de lluvia e imágenes, lo que permitió realizar una descripción a detalle. A cada evento se aplicaron análisis tiempo-frecuencia, criterios de duración y rangos de frecuencias de las señales sísmicas y acústicas, revisión de umbrales de lluvia y revisión de imágenes disponibles. Con base en las descripciones de los siete eventos mencionados, se identificaron tres tipos de lahares: tipo 1: frente seco, tipo 2: diluido y tipo 3: complejo. A partir de la identificación de estos tipos de eventos se establecieron criterios de clasificación para los flujos. Los diez eventos restantes fueron clasificados según los criterios establecidos. Para validar dicha clasificación, se emplearon análisis estadísticos multivariados: PCA (Principal Component Analysis) y LDA (Linear Discriminant Analysis). Finalmente, para aquellos eventos que fueron registrados por más de una estación, se aplicó análisis de correlaciones cruzadas para calcular velocidades promedio de desplazamiento/transporte de los flujos y respectivos frentes asociados.

Los resultados muestran claras diferencias entre los tipos de flujos a partir de las descripciones de las señales sísmicas en tiempo, así como en las imágenes disponibles. La gran mayoría de los eventos muestra evoluciones interesantes en la forma de onda que pueden traducirse en comportamiento de los flujos. La discriminación de cada evento con base en el análisis de frecuencias sísmicas resulta más complejo. Sin embargo, los espectros de frecuencia acústica revelan características de gran interés para la diferenciación entre tipos de flujos. El mejor modelo de validación de la clasificación previamente establecida fue obtenido con el LDA utilizando datos sísmicos de una sola estación y cantidades de lluvia. A pesar de que el resultado del LDA presenta un buen ajuste, se debe tomar en cuenta que el tamaño de la muestra es limitado, por lo que el modelo predictivo no es prometedor. En el presente trabajo se aprecia la utilidad de los datos sísmicos para la caracterización de procesos superficiales y su evolución espacio-temporal. Además, se demuestra cómo el análisis en conjunto de diferentes tipos de datos provee una visión integral del proceso estudiado. Finalmente se propone utilizar la metodología desarrollada en el presente trabajo a una base de datos mayor.

Figura 1.1. Localización del Volcán de Colima y estaciones de monitoreo.



Geoquímica ambiental en suelo, agua y vegetación de la zona de exploración geotérmica de Aocolco, Puebla, México

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, 2022

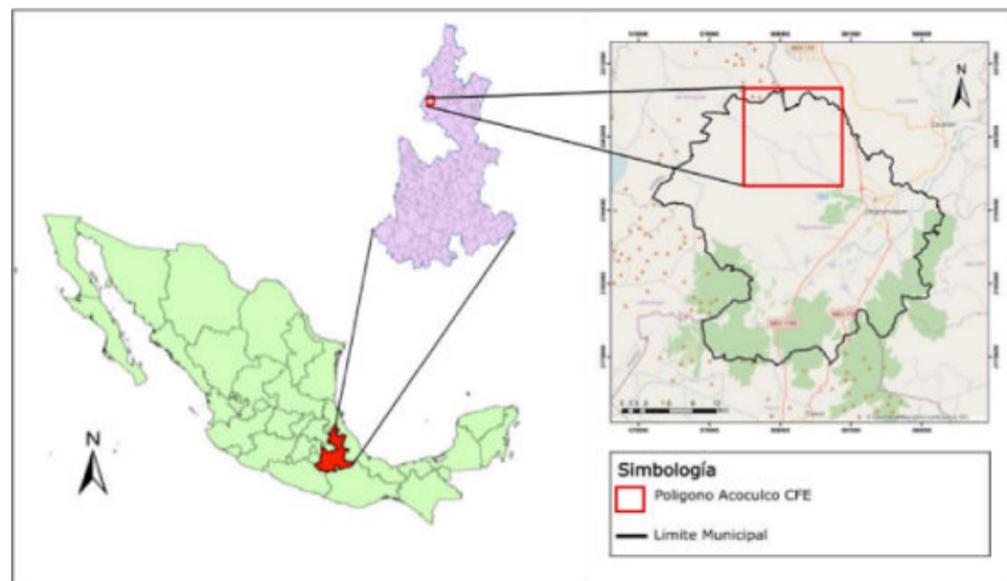
Sustentante: **Daniel Vela Godínez.**

Directora de tesis: *Dra. Zayre Ivonne González Acevedo.*

Resumen.

Los sistemas hidrotermales han sido ampliamente estudiados por el gran interés que se ha tenido para la generación de energía geotermoeléctrica, pero existen pocos estudios de geoquímica ambiental, especialmente en zonas de baja permeabilidad, como lo ha demostrado ser la zona de exploración geotérmica de Aocolco, Puebla. El sitio está caracterizado por una alteración hidrotermal argílica, manifestaciones frías con fluidos ácidos, emisiones de gases y temperaturas superficiales entre 10 y 26 °C. Dichas condiciones, pueden propiciar el transporte de elementos químicos potencialmente tóxicos entre el suelo, el agua y la vegetación circundante. Por lo anterior, se propone investigar la correlación entre los elementos químicos inorgánicos de importancia ambiental presentes en las diferentes fases del suelo, con su presencia en forma disuelta en el agua y en la vegetación circundante en la zona de exploración geotérmica de Aocolco, Puebla. Para analizar los elementos químicos en las fracciones del suelo, se utilizó el método de extracción secuencial, propuesto por Tessier en 1979 y modificado por Rauret y colaboradores en el 2000. Para el material vegetal, se realizó una digestión ácida con el método propuesto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos. El análisis y cuantificación de los elementos químicos presentes en las muestras de suelo, agua y vegetación se realizó con equipos de plasma de acoplamiento inductivo con espectrometría de emisión óptica (ICP-OES) para análisis de elementos mayores y con espectrometría de masas (ICP-MS) para análisis de elementos traza.

Los resultados más importantes de esta investigación, revelan que los gases como el CO₂ y H₂S están generando un ambiente ácido, gracias a la disolución de éstos en el agua. Su interacción con el suelo, propicia que los iones metálicos mayoritarios y elementos traza se encuentren principalmente en la fracción intercambiable. A través de reacciones oxidoreducción pasan a la fracción de hidróxidos de Fe y Mn del suelo pudiendo así ser aprovechados por plantas y hongos circundantes. Estos procesos se observaron en las zonas hidrotermales de Los Azufres y Alcaparrosa, sitios con los menores valores de pH tanto en agua como en el suelo. Es importante resaltar la alta concentración de As en el agua, que sobrepasa 4 veces la concentración que recomienda la NOM-127-SSA1-2017 como límite máximo permisible, así como la presencia de sulfatos y de Fe disuelto. Estas concentraciones representan un riesgo para la salud ambiental y humana en la zona.



Percepción del riesgo por caída de ceniza en la Ciudad de México

Universidad Nacional Autónoma De México.

Tesis que para optar por el grado de: Maestro en Ciencias, Marzo 2022

Sustentante: **López Ortiz Edwin Hazel**

Directora de tesis: *Dra. Ana María Lizeth Caballero García.*

Resumen.

La Ciudad de México se encuentra aproximadamente a 60 km del volcán Popocatepetl. Desde la reactivación del volcán en 1994, los eventos de caída de ceniza han ocurrido al menos 19 veces en la ciudad. La caída de mayor intensidad ocurrió en junio de 1997 y provocó el cierre del aeropuerto local durante diez horas y dañó varios aviones. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la severidad de la caída de ceniza se basa en el tamaño de grano y la cantidad emitida. Estos eventos de baja frecuencia y magnitud han generado poco interés por parte de los habitantes de la Ciudad de México en identificar las medidas preventivas durante la caída de ceniza. Por ello, en este estudio se evaluó la percepción del riesgo volcánico en los habitantes de la Ciudad de México mediante el desarrollo de una encuesta que fue publicada en diversos medios digitales.

La encuesta se compuso de preguntas abiertas y de opción múltiple y constaba de cuatro secciones: aspectos demográficos, experiencia con el fenómeno (conocer si los usuarios han tenido una experiencia directa o indirecta con la caída de ceniza, si los usuarios tienen la creencia de que pueda caer ceniza en el lugar donde reside o trabaja, conocer si tienen el conocimiento de la distancia del lugar donde reside o trabaja al volcán), percepción del fenómeno (conocer qué siente la persona cuando escucha y/o percibe la caída de ceniza, saber cuál es la probabilidad de una caída de ceniza importante (mayor a 10 cm de espesor) en la Ciudad de México para los encuestados, averiguar cuáles son los medios de Información que consultan, saber si conocen las medidas protección ante el fenómeno, el monitoreo volcánico y quién es el responsable que lo realiza, conocer si consideran si su familia estaría preparada ante una caída de ceniza) y el conocimiento del fenómeno volcánico. De los 4818 participantes, los datos demográficos mostraron una participación más significativa de personas de 25 a 37 años, del sexo femenino y nivel de educación universitaria.

Se generaron dos modelos de árboles de decisión. El primer árbol admitió el conocimiento de las medidas preventivas como una variable que depende de la preparación de una familia cuando ocurre una caída de ceniza, el recuerdo del fenómeno anterior y de la familiaridad del mapa de peligros. El segundo árbol consideró que la creencia en los beneficios de la ceniza estaba relacionada con la experiencia directa con la caída de ceniza y el recuerdo de cualquier evento.

Se obtuvo un modelo de regresión logística que describió que el conocimiento de las medidas preventivas ante un evento de caída de ceniza está influenciado por dos variables: la creencia de los encuestados de que este fenómeno puede ocurrir en su lugar de residencia o trabajo, y del pronóstico de las erupciones volcánicas.

Se descubrieron correlaciones espaciales moderadas utilizando el índice de Moran con las alcaldías y sus alcaldías vecinas con las variables de experiencia directa con el fenómeno de caída de ceniza, preparación para el momento de un evento y conocimiento de medidas preventivas para una caída de ceniza. Se realizó un mapa térmico de correlaciones utilizando el coeficiente de correlación de Spearman, donde la correlación más fuerte encontrada es la del recuerdo de un evento de caída de ceniza con la creencia de que pueda caer ceniza en el lugar donde reside o trabaja el usuario.

Los resultados indican que la percepción del riesgo de caída de ceniza volcánica se vio afectada por la ubicación donde viven las personas y además está relacionada con la memoria y la experiencia. Se observó que la memoria, la experiencia y las creencias de los usuarios también han influido en las medidas de preparación para un evento de caída de ceniza. Se logró concluir que los hallazgos de estos modelos dieron una explicación de cómo las creencias, la experiencia directa e indirecta, la familiaridad con el mapa de peligros y la preparación de familia influyen en la percepción de riesgo, por lo que afecta en el conocimiento de las medidas y cómo la creencia del beneficio de la ceniza volcánica se ve afectada por las experiencias que ha tenido el usuario.

Determinación del estado de equilibrio químico fluido-roca del yacimiento geotérmico Cerro Prieto (CP-I), Baja California, a partir de la geotermometría de solutos

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, 2022

Sustentante: **Annely Reyna Avilez**

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

Resumen.

El estado de equilibrio en un sistema geotérmico se puede determinar a partir de la interacción fluido-roca que se lleva a cabo en el yacimiento, donde la composición química de los fluidos (vapor y agua) dependerá del tiempo de interacción con la roca y de la temperatura, lo que resulta un cambio en la composición mineralógica de la roca (alteración mineral) del yacimiento. La temperatura del yacimiento se puede estimar a partir del uso de geotermómetros, los cuales son ecuaciones analíticas desarrolladas a partir de la composición química de fluidos y del estado de equilibrio químico que existe entre la interacción fluido-roca. Cuando hay variación en las condiciones de equilibrio la estimación de la temperatura con la geotermometría puede ser equivocada. En el presente trabajo, se realizó un análisis termodinámico-químico del estado de equilibrio fluido-roca del campo geotérmico de Cerro Prieto (CP-I), a partir de información de la composición química de fluidos de pozos. Se desarrolló un programa (en lenguaje fortran) para el cálculo de las actividades iónicas y coeficientes de actividad para los principales constituyentes iónicos disueltos en las aguas geotérmicas (Na⁺, K⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺) y a partir de diagramas de estabilidad mineral se observó que los fluidos geotérmicos del campo tienden al equilibrio entre los minerales microclina (feldespatos-K) y albita (plagioclasa-Na). El mineral que gobierna al Ca²⁺ en el fluido es la wairakita. Con esto se determinó que el CGCP-I se encuentra en cuasi-equilibrio en un estado metaestable a una temperatura de 280 °C. Se desarrollaron geotermómetros basados en actividades iónicas y relaciones de concentración para Na/K, cuyas estimaciones de temperatura presentan errores normalizados de ±10% con respecto a la temperatura del yacimiento, demostrando una reducción en la incertidumbre de las estimaciones en comparación con las ecuaciones clásicas. Este trabajo propone que con el desarrollo de geotermómetros basados en la composición química del campo geotérmico y las temperaturas de fondo de pozo (BHT) se tendría un mejor control y un monitoreo más eficaz en la estimación de las temperaturas del yacimiento y con ello complementar estudios para identificar nuevas áreas con potencial de producción en el campo geotérmico.

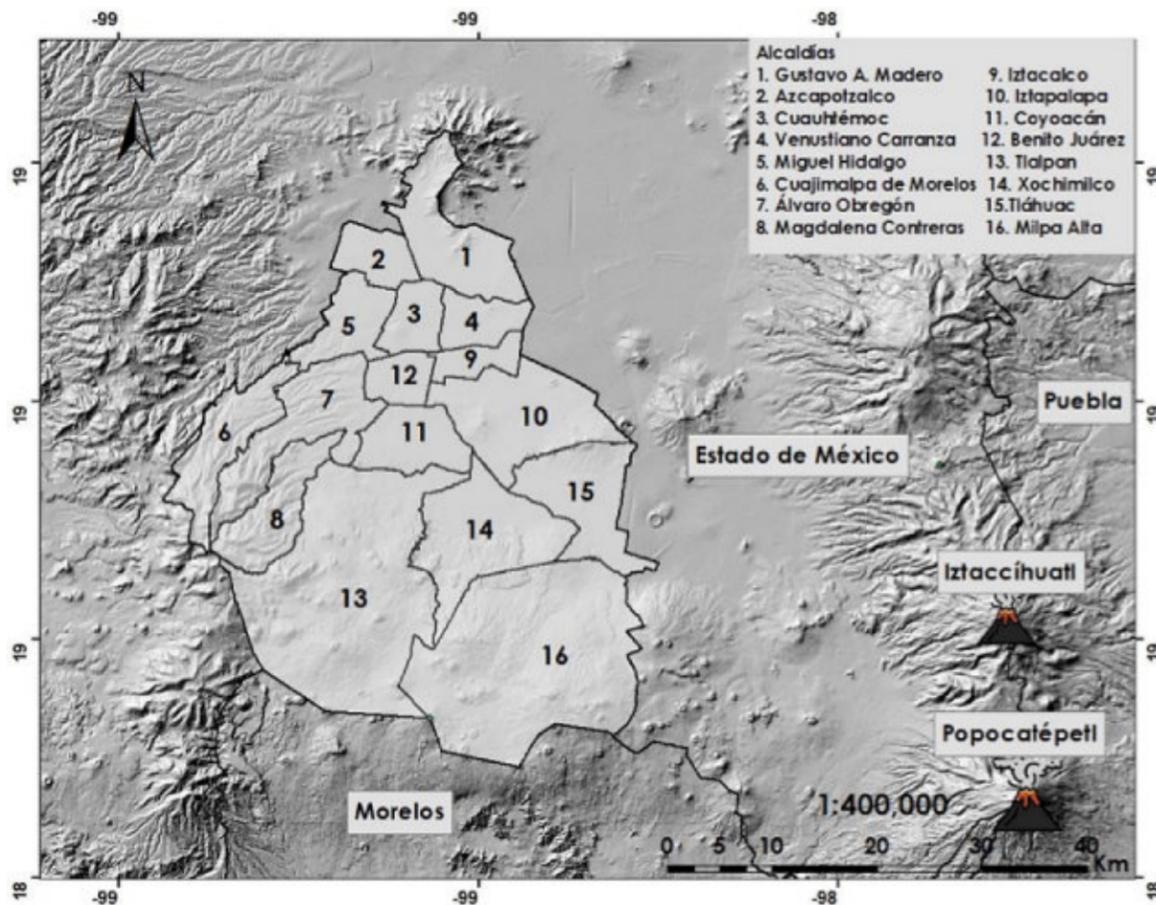


Figura 1.1. Área de estudio.

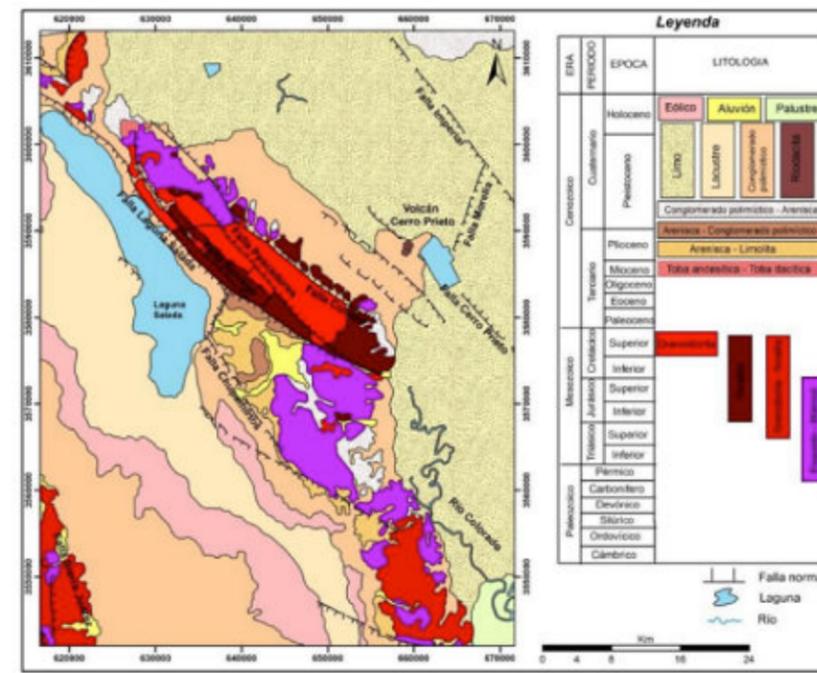
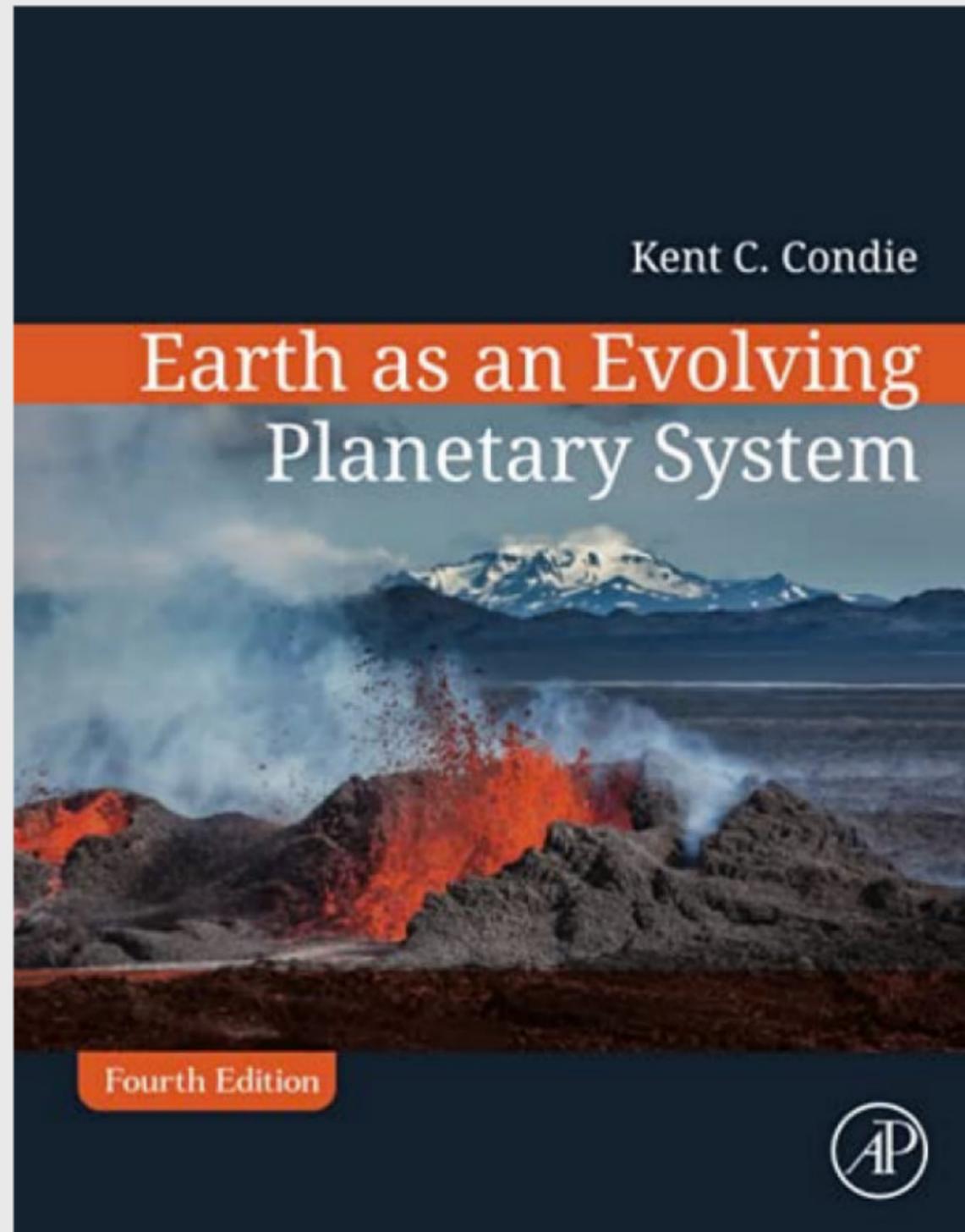


Figura 1.1. Mapa geológico regional para el campo geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) (tomado de Macías-Vázquez y Rocha-López, 2013).



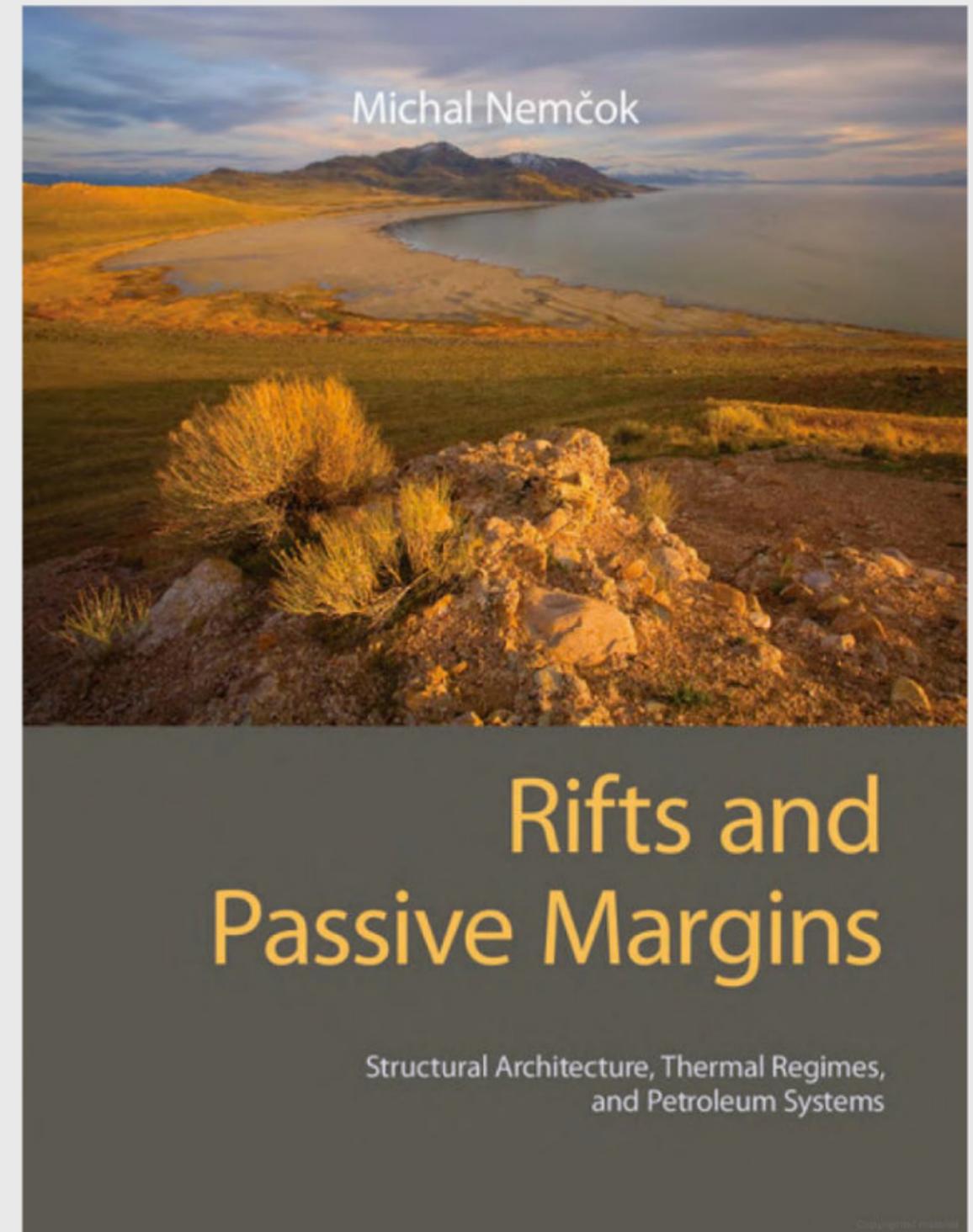
El libro recomendado

<https://www.sciencedirect.com/book/9780128199145/earth-as-an-evolving-planetary-system>



El libro recomendado

<https://www.cambridge.org/core/books/rifts-and-passive-margins/95D2178A9C7D9BCE3567E126A1E522F0>



TEMAS DE INTERÉS

Cero emisiones netas para 2050

El cómo llegar a las cero emisiones netas es uno de los elementos claves del acuerdo de París para combatir el cambio climático en el cual se estableció limitar el aumento en la temperatura global por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales y continuar trabajando para limitar ese crecimiento a 1.5°C y mitigar el mayor daño posible al medio ambiente tiene como uno de sus objetivos principales la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI por sus siglas en español). El aumento de la temperatura media global es proporcional a la cantidad acumulada de CO₂ emitido a la atmósfera. Existen múltiples factores implicados directamente a esta proporcionalidad a las que también alude el Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC). Por ejemplo, cualquier nivel dado de estabilización de la temperatura está asociado con un límite superior en las emisiones acumuladas de CO₂, a veces denominado “presupuesto” o cuota de carbono (carbon budget). Por lo tanto, emisiones más altas en décadas anteriores implican emisiones más bajas en la misma cantidad más adelante. La proporcionalidad entre el CO₂ y la temperatura media global también implica que limitar el calentamiento a cualquier nivel requiere que las emisiones anuales netas de CO₂ se reduzcan a prácticamente cero. El IPCC basados en múltiples evaluaciones de escenarios que toman en cuenta posibles evoluciones en nuestra sociedad a nivel global concluye que para mantener el calentamiento por debajo de los 2°C con un chance mayor al 66% es necesario que las emisiones acumuladas se deben limitar alrededor de 1000 GtCO₂ después de 2011 con casi cero gases de efecto invernadero (GEI) a largo plazo vividos al final de siglo.

Existen múltiples términos relacionados con el acuerdo de París y las cero emisiones netas que pueden llegar a ser confusos, los cuales aclararemos a continuación. Históricamente el término *descarbonización* ha sido utilizado para indicar una reducción promedio en la intensidad del CO₂ en la producción de energía primaria (Ej. quema de combustibles fósiles como leña, carbón, gas etc.) a través del tiempo o de forma general se refiere a la reducción de emisiones de CO₂ proveniente de procesos energéticos e industriales. Una *descarbonización completa* de la economía global significa que las emisiones anuales de CO₂ de los procesos industriales y energéticos sean cero a escala global refiriéndose a las emisiones de CO₂ de actividades energéticas e industriales que no están balanceadas con el uso de captura de carbono y almacenamiento geológico (CCS por sus siglas en inglés). De manera semejante la *neutralidad del carbono* de la economía global indica que el total anual emisiones de CO₂ sea cero a escala global pero este concepto cubre todas las fuentes de emisión de CO₂ antropogénicas como los procesos energéticos, industriales y el uso de suelo. Actualmente existe el término *cero emisiones de carbono* (sin el término neto) el cual es un concepto más hipotético, debido a que el IPCC de acuerdo con sus bases de datos no ha llegado a ningún escenario en donde se alcance las cero emisiones de carbono significando que en ningún escenario con las medidas extremas de mitigación emisiones de CO₂ residuales pueda lograrlo. La *neutralidad climática* puede ser interpretada de múltiples maneras a nivel mundial se define como vivir de forma en donde no produzca cero emisiones netas de gases de efecto invernadero. En términos científicos esto por lo tanto corresponde con alcanzar las *cero emisiones netas de gases de efecto invernadero* lo cual significa que todas las emisiones residuales de CO₂ y distintas de CO₂ (por ejemplo, metano u óxido nitroso, expresadas en unidades de equivalencia de CO₂) se compensan con *emisiones negativas* de CO₂ lo cual implica hacer un balance entre el CO₂ residuales y el CO₂ removido en cantidades iguales el término “remoción” (removals) se refiere a la absorción de CO₂ debido a las actividades humanas en el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura.

De manera que el término *emisiones netas* el cual es comúnmente usado en las propuestas de países en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) aunque este término no este legalmente definido, este término bajo estas circunstancias se refiere a la suma de emisiones relacionadas con el sector energético e industrial (refiriéndose a las emisiones brutas) y a emisiones absorbidas en el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (LULUCF por sus siglas en inglés). Por lo tanto, se debe tener cuidado al usar los términos “neto” o “remoción”, porque los no científicos podrían inferir implicaciones muy diferentes para la política.

Objetivos globales de emisiones a largo plazo

Se requiere un límite en las emisiones acumuladas de CO₂ para detener el aumento de la temperatura media global a cualquier nivel y, por lo tanto, implica que las emisiones anuales globales de CO₂ tienen que convertirse en cero emisiones netas en algún momento. Se han explorado múltiples escenarios en donde se reanalizó con uso de geofísica escenarios de emisiones donde primero, se exploró el momento típico en que en que las emisiones anuales de CO₂ alcanzan niveles netos cero como una función de las emisiones acumuladas de CO₂ en siglo XXI (fig.1). Luego fue proporcionada las características de los objetivos de emisión cero a largo plazo para los objetivos de temperatura global (fig.2) y se observó la efectividad de los objetivos de neutralidad de carbono (fig.3). Finalmente, se cuantifico la influencia de niveles de emisión mas altos o mas bajos a corto plazo (en 2020 y 2030) en estas metas de cero emisiones (fig. 4 y 5)

Primero, exploramos el momento típico en el que las emisiones anuales de CO₂ alcanzan niveles netos cero como una función de las emisiones acumuladas de CO₂ en el siglo XXI (fig. 1). Luego, proporcionamos las características de los objetivos de emisión cero a largo plazo para los objetivos de temperatura global (fig. 2) y observamos la efectividad de los objetivos de neutralidad de carbono (fig. 3). Finalmente, cuantificamos la influencia de niveles de emisión más altos o más bajos a corto plazo (en 2020 y 2030) en estas metas de cero emisiones (fig. 4 y 5). El IPCC reporta escenarios donde existe una probabilidad mayor al 66% de estar debajo de los 2°C limitando las emisiones acumuladas de CO₂ en el rango de 630 a 1188 GtCO₂ en el periodo de 2011 a 2100. El análisis de este escenario sugiere que la gran mayoría de estos escenarios puede alcanzar las cero emisiones netas de CO₂ antes de 2080. Las cuotas de CO₂ se definieron aquí durante el periodo 2011 a 2100 y se emitieron alrededor de 155GtCO₂ de 2011 a 2014. También para cuotas de CO₂ más altos de hasta alrededor de 1600 GtCO₂, las emisiones netas de CO₂ cero suelen lograrse antes de 2100, dependiendo de la evolución a corto plazo de las emisiones (fig. 1c).

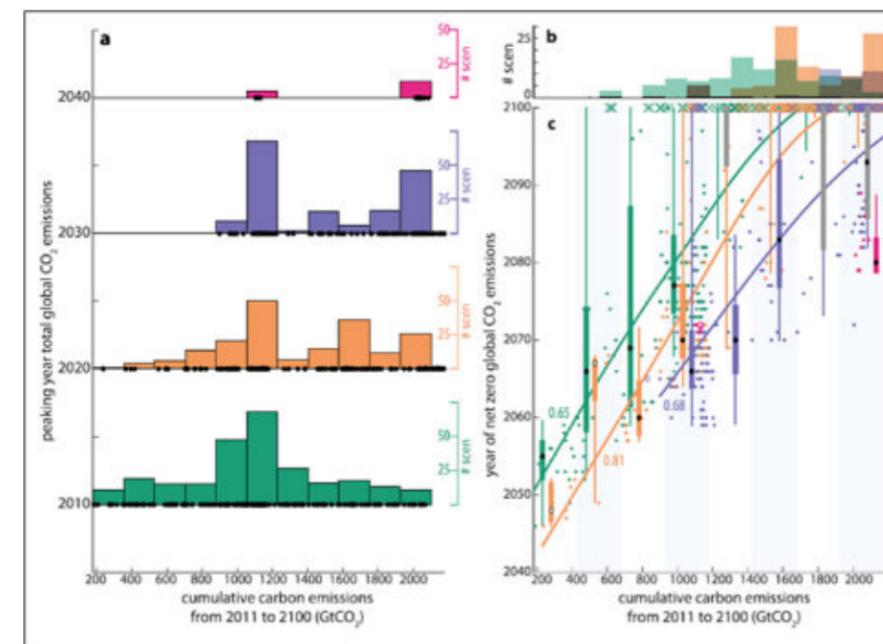


Figura 1: Influencia del año pico de emisiones globales de CO₂ en el momento de las cero emisiones netas de CO₂ globales. (a) Distribución de las emisiones de carbono acumuladas de 2011 a 2100 y año pico para las emisiones globales totales de CO₂. (b) Distribución de escenarios que no lograron emisiones netas de CO₂ globales cero antes del siglo XXI. (c) Relación entre las emisiones de carbono acumuladas de 2011 a 2100 y el momento en que las emisiones globales de CO₂ alcanzan niveles de cero emisiones netas. Los colores verde, naranja, morado y rosa en los paneles (b) y (c) se refieren a los años pico que se muestran en el panel (a). Los puntos indican escenarios únicos. Los rombos muestran medianas, y los diagramas de caja y los bigotes indican el rango central de 50 y 90%, respectivamente, sobre cada contenedor sombreado. Los rombos vacíos indican que hay menos de 10 escenarios disponibles en un contenedor determinado y para un año pico determinado; los diamantes rellenos indican lo contrario. Los recuadros de colores indican que más del 80% de los escenarios realmente logran cero emisiones netas de CO₂ antes de 2100; cajas grises lo contrario. Las líneas diagonales en el panel (c) son líneas de suavizado sobre todos los puntos de datos para cada año pico, respectivamente. Los números en el panel (c) son valores R² para los ajustes respectivos Tomada de: Rogelj, J et al. (octubre 21, 2015).

Finalmente, los resultados también son consistentes con el valor de 1000 GtCO₂ proporcionado en el Informe de Síntesis del IPCC. Para que el calentamiento vuelva a estar por debajo de 1,5 °C para 2100, encontramos un presupuesto medio de CO₂ de 365 GtCO₂ y un rango intercuartílico de 275–425 GtCO₂. Estos presupuestos luego se traducen en un momento correspondiente para lograr emisiones netas cero globales (figura 2 (c); tabla 2). El año promedio para lograr cero emisiones netas de CO₂ en escenarios que limitan el calentamiento por debajo de 2 °C con >66 % de probabilidad es alrededor de 2065, con un rango intercuartílico de aproximadamente 2060–2075. En más del 95% de los casos las emisiones netas de CO₂ cero se logran antes de 2100.

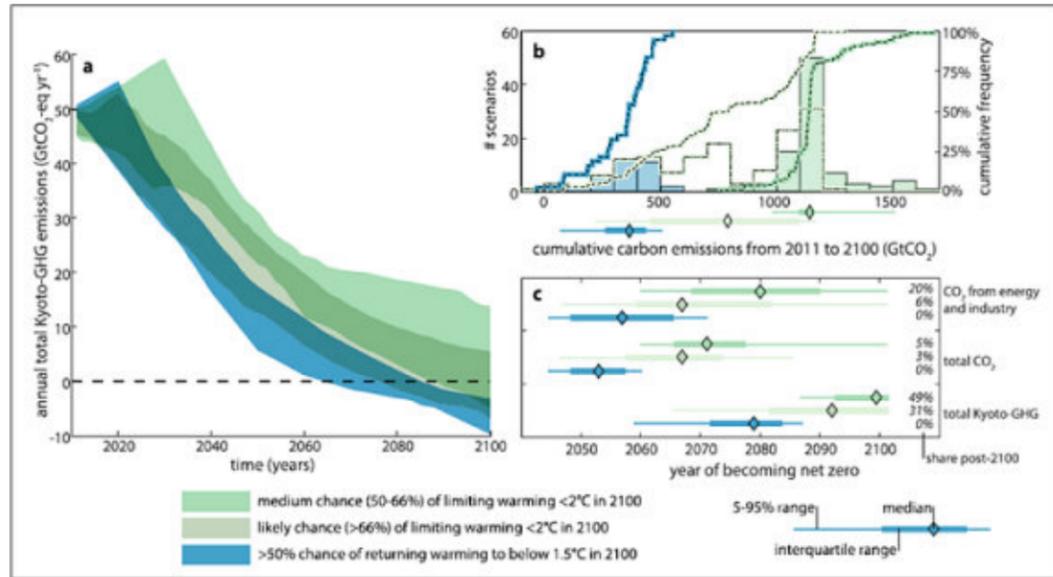


Figura 2: Características acumulativas de CO₂ y cero emisiones netas de los escenarios de 1,5°C y 2°C. (a) Emisiones anuales de GEI de Kioto a lo largo del tiempo para escenarios de 1,5°C y 2°C (rango de percentil 10 a 90). (b) Estadísticas de emisiones de CO₂ acumuladas de 2011 a 2100 por grupo de escenarios; (c) Estadísticas del momento en que las emisiones se convierten en cero emisiones netas. Se proporcionan datos para las emisiones de CO₂ no disminuidas de fuentes industriales y de energía, las emisiones netas totales de CO₂ y las emisiones netas totales de GEI de Kioto. Los porcentajes junto a las barras en el panel (c) indican la proporción de escenarios que no alcanzan niveles de cero emisiones netas antes de 2100 en la categoría respectiva y para el gas respectivo Tomada de: Rogelj, J et al. (octubre 21, 2015).

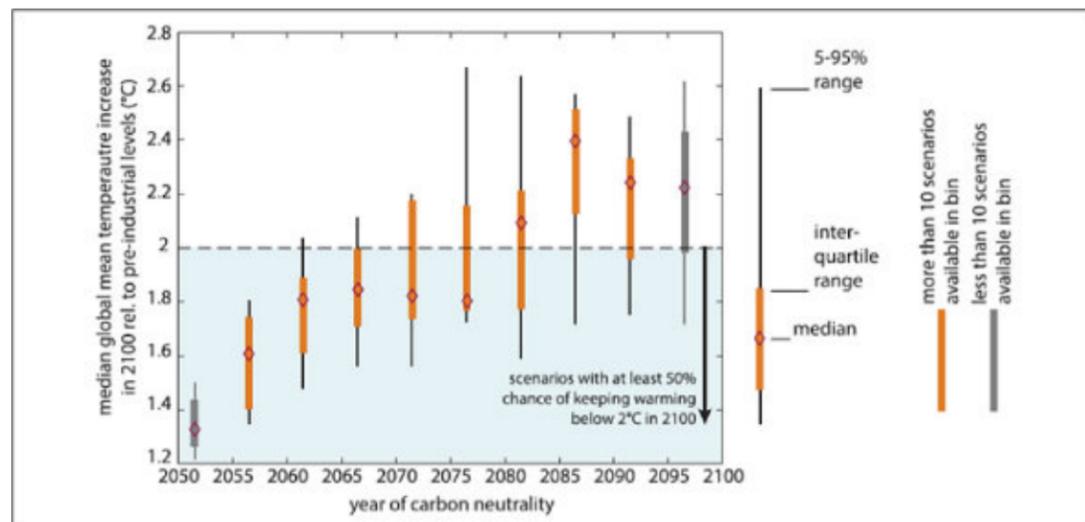


Figura 3: Efectividad de los objetivos globales de neutralidad de carbono. Relación entre el año de neutralidad de carbono y el aumento de la temperatura media mundial en 2100, en relación con los niveles preindustriales. A menos que se logre la neutralidad global en carbono a mediados de siglo, parece que lograr la neutralidad global en carbono es una condición necesaria, aunque no suficiente, para limitar el calentamiento por debajo de 2°C para 2100 con al menos un 50% de probabilidad. Relaciones similares para el momento de las emisiones globales netas de GEI de Kioto y del CO₂ no reducido de la energía y las fuentes industriales que se vuelven cero Tomada de: Rogelj, J et al. (octubre 21, 2015).

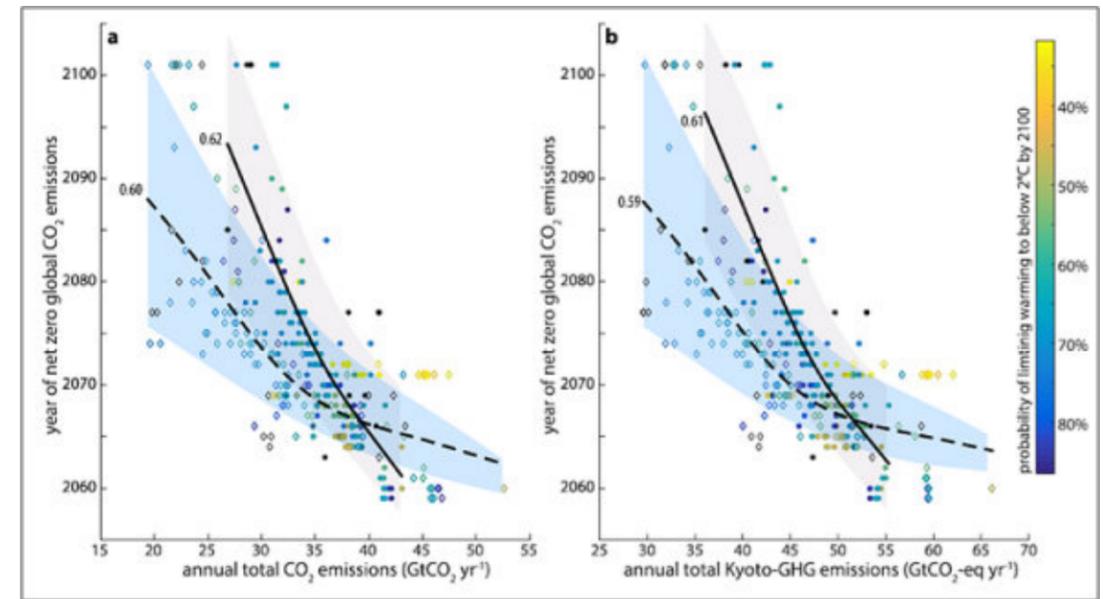


Figura 4: Influencia de los niveles de emisión a corto plazo en 2020 y 2030 en el momento de las emisiones netas de CO₂ globales cero durante el siglo XXI. Momento de las emisiones globales netas de CO₂ cero en función de las emisiones anuales totales de CO₂ (panel a) y de GEI de Kioto (panel b) en 2020 (puntos) y 2030 (rombos), respectivamente. Las líneas negras continuas y discontinuas representan ajustes de spline suavizados para los años 2020 y 2030, respectivamente. Los rangos sombreados en gris y azul que abarcan suavizan las regresiones de cuantiles splines en los percentiles 10 y 90 para los años 2020 y 2030, respectivamente. Los puntos y rombos están codificados por colores en función de su probabilidad de limitar el calentamiento por debajo de 2°C para 2100. Todos los escenarios mostrados tienen emisiones de CO₂ acumuladas desde 2011 hasta 2100 entre 930 y 1180 GtCO₂. Los números en los paneles son valores R² para los respectivos ajustes medianos Tomado de: Rogelj, J et al. (octubre 21, 2015).

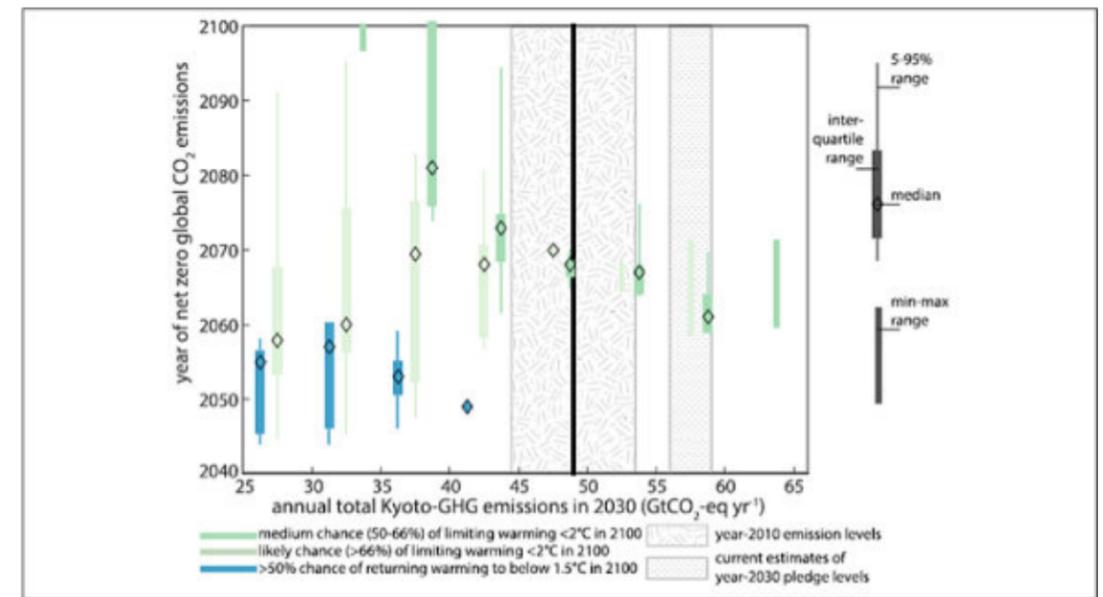


Figura 5: Influencia de los niveles de emisión de GEI de Kioto a corto plazo (2030) en el momento en que las emisiones globales de CO₂ se convierten en cero emisiones netas para escenarios de 1,5 °C y 2 °C. Las estimaciones del año 2010 y el rango de incertidumbre del 90%. Los niveles de emisión estimados para el año 2030 como resultado de los compromisos actuales. Los rangos verticales muestran las estadísticas por ventana de 5 GtCO₂-eq, comenzando en 25 GtCO₂-eq. Si hay menos de 10 escenarios disponibles para una ventana dada y un objetivo de temperatura dado, solo se proporciona el rango mínimo máximo. Si solo hay un valor disponible, este valor se indica con un solo rombo. La influencia de las emisiones de GEI de Kioto a corto plazo en el momento en que las emisiones globales netas de GEI de Kioto y el CO₂ constante de fuentes energéticas e industriales se vuelven cero Tomada de: Rogelj, J et al. (octubre 21, 2015).

Principales retos para alcanzar las cero emisiones netas

Muchas economías mayores y en vías de desarrollo se comprometieron a alcanzar las cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el 2050 para limitar el cambio climático. Todo esto trae consigo un enorme reto a nivel económico-social e incluso de comportamiento. Se necesitan tomar acciones inmediatas para alcanzar este objetivo y seguir disminuyendo las emisiones acumuladas. Un ejemplo como el gobierno de Reino Unido que aunque se encuentra entre los primeros en establecer un objetivo legalmente vinculante con las cero emisiones netas para 2050, hasta ahora solo ha implementado completamente solo 11 de las 92 recomendaciones políticas de su comité de cambio climático y no está en camino de cumplir con las cero emisiones netas o el termino medio en el presupuesto de carbono.

La dieta y los viajes por tierra contribuyen con un 26 % y un 12 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, respectivamente. Reducir estas emisiones también beneficiaría la salud al reducir la contaminación del aire, siendo esta hasta ahora la mayor amenaza externa para la salud humana, al aumentar la actividad física y las dietas más saludables, se abordarían así los principales factores de riesgo de enfermedades no transmisibles a nivel mundial. Los cambios en la demanda serán fundamentales para lograr las cero emisiones netas, junto con la innovación tecnológica. Es probable que el cambio en la dieta genere beneficios ambientales mucho mayores que los que pueden lograr los productores de alimentos. De manera similar, para los viajes terrestres, la reducción de la demanda de vehículos de altas emisiones generaría reducciones importantes: los vehículos utilitarios deportivos fueron responsables del segundo aumento más grande (después del eléctrico) de las emisiones globales de carbono entre 2010 y 2018. Sin embargo, cambiar la demanda de manera equitativa requiere intervenciones estructurales para impulsar el cambio de comportamiento de poblaciones enteras.

Tipo de intervención	Dietas	Viajes terrestres
Entorno físico: Alteración de la disponibilidad, posición, presentación o tamaño de productos u objetos dentro de tiendas, cafés y restaurantes (micro) y dentro de pueblos y ciudades (macro) para disminuir las oportunidades de consumir productos y actividades con altas emisiones y para aumentar las oportunidades de consumir productos y actividades de bajas emisiones	<ul style="list-style-type: none"> •Aumentar las proporciones de opciones de alimentos a base de plantas en los puntos de venta minorista de alimentos y en los menús. •Reducir el tamaño de las porciones y los paquetes de alimentos densos en energía, alimentos ultra procesados, carne y productos lácteos. •Posicionamiento destacado solo para alimentos saludables y sustentables: coloque en los extremos de los pasillos alimentos más saludables y sustentables, coloque alternativas a la carne con carne, coloque las opciones vegetarianas primero. •Reducir la densidad de puntos de venta de alimentos ultra procesados, incluida la carne. 	<ul style="list-style-type: none"> •Aumentar la disponibilidad de rutas ciclistas y peatonales seguras y atractivas, diseñadas en torno a espacios verdes y azules, vinculadas a buenas redes de transporte público. •Redes de transporte público frecuentes, fiables e integradas (utilizando energías renovables) con provisión para sillas de ruedas, carriolas, carritos de compras y bicicletas. •Restringir la disponibilidad y el atractivo del uso del automóvil, por ejemplo, zonas libres de automóviles, estacionamiento limitado, medidas para calmar el tráfico y límites de velocidad bajos⁴⁷
Entorno económico: Cambio de precios de bienes y servicios mediante la introducción, modificación o eliminación de impuestos, subsidios y otros incentivos materiales para disminuir la asequibilidad de productos y actividades de alta emisión y aumentar la asequibilidad de productos y actividades de baja emisión	<ul style="list-style-type: none"> •Eliminar subsidios a la ganadería •Aumentar los precios de los alimentos intensos en carbono, incluidas las carnes rojas y procesadas, los productos lácteos y los alimentos ultra procesados •Reducir los precios de los alimentos poco procesados y de origen vegetal 	<ul style="list-style-type: none"> •Eliminar los subsidios a los combustibles fósiles •Aumentar los precios de los combustibles fósiles • Cobrar a los usuarios de las carreteras para vehículos privados (p. ej, cobro por zona de congestión y aumento de los costos de estacionamiento) •Transporte público de bajo costo

Tabla 1: Intervenciones a nivel de la población para cambiar el comportamiento de las dietas netas cero y los viajes por tierra Modificado de: Marteau, T., Chater, N. & Garnett, E. (octubre 7, 2021).

A escala pública adoptar estas medidas en el cambio de la dieta en combinación con los traslados realizados a pie, en bicicleta y transporte público pueden reducir de forma substancial las emisiones de gases de efecto invernadero a la par de mejorar la salud. Las fuentes de alimentos (carne, lácteos y pescados) generalmente requieren una mayor área de tierra, agua y crean mas GEI que los alimentos de origen vegetal. Las dietas sostenibles y saludables consisten en gran medida en diversos alimentos vegetales con bajas cantidades de alimentos de origen animal, grasas insaturadas en lugar de saturadas y cantidades limitadas de granos refinados, alimentos altamente procesados y azúcares añadidos. La naturaleza y la escala en estos cambios alimenticios esta condicionada a los patrones existentes de dietas y estatus de nutrición de la población local es decir no se pueden hacer las mismas recomendaciones nutricionales en el promedio del consumo de carne en África la cual puede incrementar ligeramente en un 2% mientras que en Norteamérica y Europa necesita reducirse en un 79% y 68% respectivamente

Los viajes terrestres sostenibles implicarán sustancialmente menos viajes en automóvil y más viajes a pie, en bicicleta y en transporte público, asegurando que todo el transporte sea neutral en carbono y alimentado por energía renovable. Esto requiere una transformación del sector energético y de las infraestructuras de transporte, priorizando el transporte activo y público sobre la construcción de carreteras

Otro aspecto a resaltar es que solamente la educación no es suficiente, el conocimiento de las personas en cual comportamiento genera la mayor cantidad de emisiones de GEI es deficiente. Por ejemplo, solo el 20% de las personas en una gran encuesta internacional identificaron llevar una dieta basada en alimentos de origen vegetal o no tener un automóvil como una de las acciones más efectivas. Proporcionar información para corregir tales percepciones erróneas podría, de manera importante, aumentar el apoyo público a las políticas gubernamentales para las cero emisiones netas, pero es poco probable que dicha información cambie estos comportamientos.

Podemos concluir que los objetivos relacionados con el CO₂ (como las cero emisiones netas de carbono o la descarbonización total) tienen un vínculo directo convincente con los hallazgos de las ciencias climáticas sobre los presupuestos de CO₂. Estos objetivos relacionados con el CO₂ pueden complementar los objetivos de la lista más amplia de emisiones de gases de efecto invernadero de Kioto, de modo que también se controlen las contribuciones de los gases distintos del CO₂ al cambio climático. Los objetivos de cero emisiones netas (incluida la descarbonización total) son puntos focales útiles para la política, ya que proporcionan un vínculo entre las vías socioeconómicas tecnológicamente viables y un límite a largo plazo en las emisiones acumulativas de CO₂. Desde un punto de vista climático, las emisiones de CO₂ acumuladas limitadas siguen siendo la máxima prioridad para la estabilización de la temperatura. Las emisiones de cada año contribuyen a este presupuesto de CO₂, y retrasar la mitigación en las próximas décadas aumenta la presión para lograr emisiones netas de CO₂ cero a principios de este siglo. Una vez que se alcancen las emisiones globales netas de CO₂ cero, también se limitará efectivamente el presupuesto acumulativo de CO₂. Finalmente, surgen análisis conjuntos internamente consistentes de objetivos globales a largo plazo: para cada objetivo de temperatura global, se puede especificar un conjunto de presupuestos de CO₂, niveles de emisiones globales a corto plazo (2030) y un rango anual para lograr emisiones netas de CO₂ totales cero. Esta información puede ayudar a los formuladores de políticas a verificar la consistencia interna y la integridad científica de las negociaciones climáticas en curso de la CMNUCC.

Bibliografía

Rogelj, J et al. (octubre 21, 2015). Zero emission targets as long-term global goals for climate protection. mayo 2, 2022, de ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS Sitio web: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/10/105007/pdf>

Marteau, T., Chater, N. & Garnett, E. (octubre 7, 2021). Net zero in the heating sector: Technological options and environmental sustainability from now to 2050. mayo 2, 2021, de thebmj Sitio web: <https://www.bmj.com/content/bmj/375/bmj.n2293.full.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo. (diciembre 2019). Cómo llegar a cero emisiones netas: Lecciones de América Latina y el Caribe. mayo 2, 2022, de Banco Interamericano de Desarrollo Sitio web: <http://dx.doi.org/10.18235/0002024>

Reporte compilado por
Saúl Humberto Ricardez Medina
Colaborador de la revista

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

Dr. Rafael Guardado Lacaba

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

Resumen

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

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

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

Abstract

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

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

Keywords. Mining, Small Mining, territorial development.

Introducción.

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



Figura 1. Ciclo minero.

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

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

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

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

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

Fundamentos la pequeña minería y la COVID.

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

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

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

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

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

La visión política de la pequeña mediana y minería artesanal

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

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

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

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

La necesidad de un enfoque multidisciplinario

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

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

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

El objetivo es generar el fomento de la pequeña y artesana minería en el marco del desarrollo local y regional de los municipios y/o provincia, de manera que se promueva una actividad de pequeña y mediana Minería que permita un acceso fluido al mercado nacional e internacional. La gran deuda que el país tiene con la pequeña minería es la falta de su reconocimiento. Asimismo, Las universidades formadoras de geólogos y mineros no están formando profesionales para poder desempeñarse en la pequeña minería, solo están preocupados por la gran minería. En el caso de la carrera de Minas de la Universidad de Moa no cuenta con un Técnico Medio Superior de Minas que pudiese desarrollar estas actividades en el país están preparando líderes operacionales para pagar en parte esa deuda histórica con la pequeña minería.

A modo de conclusión

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

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA

- Berrios, Jorge (1997), “La legislación Minera de los Países de América Latina”, CEPAL, Naciones Unidas. LC/R. 1720, Santiago de Chile, mayo.
- Jennings, Norman. (1999) “Los problemas sociales y laborales en las explotaciones mineras pequeñas”. Informe para el debate de la Reunión tripartita sobre los problemas sociales y laborales en las explotaciones mineras pequeñas. Oficina Internacional del Trabajo (OIT). Informe TMSSM/1999, Ginebra, 17-21 de mayo de 1999.
- Gaceta oficial de Cuba. Ley No. 76. LEY DE MINAS
- Saez, Pablo (1999), “La Pequeña Minería en Chile: Análisis, diagnóstico relación con la economía del país y comparación con otros países latinoamericanos”, Santiago de Chile, 9 de febrero del 2000, inédito
- World Bank-International Finance Corporation (2001) HIV/AIDS and Mining. Grupo de Minería del Banco Mundial.
- Zamora Echenique Gerardo, Trujillo L Elvis. Llanque C Milan. 2012. Propuesta para el desarrollo sustentable de la pequeña minería en Bolivia. Universidad Técnica de Oruro Ciudad Universitaria – Zona Sud – Oruro – Bolivia milanllanque@gmail.com <file:///D:/peque%C3%B1a%20minería/peque%C3%B1a%20minería%20en%20bolivia.pdf>

Una visión personal de la investigación en sismología histórica y geología de terremotos en tiempos de pandemia

José Antonio Rodríguez Arteaga

Colaborador de la Revista

rodriguez.arteaga@gmail.com

Introducción

El ritmo de la pesquisa geológica mundial y nacional, ha sido paralizado por una pandemia y su mutante virus. De ella, las ciencias geológicas no han salido indemnes. Ello ha impuesto la necesidad de implementar y fortalecer la educación e investigación en geociencias bajo la modalidad a distancia -no siempre lograda con buen éxito- mediante el uso de plataformas digitales que permitan cumplir con los postulados sanitarios y de distanciamiento social dictados por la OMS “antes, durante y después” de su fase más álgida de contagio. Esta situación en la Venezuela actual ha sido difícil de sobrellevar, por expresarlo en una frase y sin menoscabo de ninguna otra nación y especialidad.

La presente reflexión muestra en resumen, los efectos que el Sars-Covid19 ha tenido sobre la investigación histórico-sísmica y el tratamiento transversal de la geología de fallas activas, incluyendo disciplinas conexas en beneficio de una comunidad sismológica nacional, bastante disminuida en investigadores e institutos, además de la precariedad económica y de cierre parcial de los claustros académicos en los que el tema de los sismos ha llevado lo suyo, sin menosprecio de otros sectores con historias paralelas.

Entre la pandemia y la investigación geológica de fallas activas

Muchos y muy importantes cambios de actitud, costumbres y paradigmas (Franco Urbani, *com. escrita*, 2022) han variado y sostenido marcada lentitud en cualquier pesquisa geológica. Desde la histórico-sísmica a la que se ocupa de la geología de terremotos y otros temas del saber geocientífico venezolano.

Consultado el entorno experto donde nos hemos movido por más de 30 años, y en el que se han formado investigadores y profesionales de la neotectónica, geomorfología, sismotectónica, paleosismología, el riesgo y la amenaza sísmica, así como la investigación tsunamigénica, reciente o antigua y sus registros, la situación de los mal llamados “riesgos naturales” asociados o no a los sismos, siguen y seguirán actuando pese a toda clase de síntomas de cualquier evento de salubridad mundial inesperado. A ello se suman factores sobrevenidos en la investigación geocientífica del fallamiento activo vernáculo desde hace \geq a 7 años atrás, obviados en estas líneas *ex profeso* pues tienen su espacio y características propias, y serán tratados en su oportunidad.

El estudio histórico de los sismos venezolanos “sobrevive” al Covid, gracias a unos pocos investigadores y especialistas aun activos que con esfuerzo han permitido que el mismo no pierda el impulso, pues pese a la *quiescencia funcional* que actualmente posee, la responsabilidad recae en quienes desean enriquecerlo y aumentarlo, independientemente de los malos tiempos.

Mucho trabajo es necesario y el rescate de documentos nuevos y viejos, incluyendo algunos apócrifos, revelan la necesidad de conservación en repositorios digitales e institucionales. Esta es una tarea obligatoria, pues los problemas de conservación en papel, son ingentes, al igual que es necesario de forma general los archivos en este formato, casi inexistentes en el país.

La alternativa la ofrece probablemente el “acceso abierto” a colecciones que atiendan los problemas cada vez mayores de la producción vernácula y la aprobación de propuestas en proyectos de digitalización para el ámbito universitario y de investigación regional y local. El problema nunca será la propuesta en sí, el problema es la disponibilidad de fondos y en particular de especialistas.

De la pandemia, la geología y la historia

El primer brote de Sars-Covid 19 en Venezuela fue confirmado un viernes, 13 de marzo del 2020 decretando el estado de alarma sanitaria, 3 días después y publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.519 el día 16 de marzo de 2020. Tras 2 meses de aislamiento total fue implementado un sistema libérrimo de alternancia denominado: 7 x 7 (siete días de aislamiento y control, por siete días de labores teniendo presente la bioseguridad).

Añádase a la etapa virulenta y al decreto, las sucesivas “recidivas” en lo que restó del 2020, más el 2021 y el año en curso, dando como resultado alarmas que recuerdan que está entre nosotros, una de las más devastadoras calamidades ocurridas en el registro histórico de la humanidad cuyo antecedente viene de 1918.

Hace más de un centenar de años aquella mal llamada gripe española de 1918 -que no fue ni gripe, ni española, sino un nombre “políticamente acertado”- afectó la memoria colectiva [que] se olvidó de ella (Altez, 2022). Súmese que de *española* no ha quedado ni el apellido (Murillo Godínez, 2011) si nos remontamos a más de una década; y ese olvido fue mortal. Una estimación sencilla señala a 1900 como la fecha en que empezará la preocupación por la sismología en Venezuela y la carencia de instrumentos *seismológicos* (Olivares, 1967). En 1925 el venezolano Pedro Ignacio Aguerrevere tras su doctorado en Stanford, trae consigo una novedosa definición: *falla viva* aludiendo a falla geológica activa productora de sismos (Singer y Audemard, 1997). En ese lapso de veinticinco años, ocurrirá la gripe española y aún el país no daba pasos certeros en el quehacer de la geología sísmica al no existir instrumentos de registro, pero sí cuadernos de notas en donde se anotaban los eventos sentidos en diversos lugares del país. Tendrá que transcurrir más de medio siglo, para que se haga patente la sismología histórica y la geología de fallas cuaternarias.

Es importante tener en cuenta los riesgos de la desinformación que atraen a todos los sectores, ello ha permitido reflexionar sobre un aspecto que en apariencia “juega al olvido”, tal como fue expuesto: “Los desastres también se administran. (...) sobre el desorden aparente generado por la catástrofe, se puede crear un orden subyacente, bien para gestionarlo en beneficio de la población, o bien en beneficio de ciertos intereses” (Altez, *op. cit.*). En cuanto a la geología:

1- (Romero *et. al.*, 2020): «*La investigación... no puede ser interrumpida en tiempos de pandemia, (...) responder con eficiencia y rapidez antes fenómenos naturales que afectan a la sociedad (...) centrándose en una crítica sobre los efectos de la pandemia en el campo de la geología y fundamentando su trabajo en el análisis de datos estadísticos oficiales, observaciones de fenómenos naturales y análisis de imágenes satelitales realizadas en el transcurso de la pandemia*».

Generalidades en una muestra nacional

Ejemplos hay muchos tomando en cuenta a aquellos provenientes para y de áreas geológicas nacionales, centradas en el caso actual, en la investigación histórico-sísmica de Venezuela tornada en disciplina a partir del siglo XIX y acompañante sempiterna de la ciencia de los terremotos y sus cultores, docentes e investigadores los cuales han vivido personales dificultades para atender una población estudiantil mermada y en contingencia por las actividades no-presenciales, y alumnado oscilante: (2 \leq estudiantes \geq 10) (Franck Audemard, *com. escrita*, 2022) o bachilleres con 100% de actividad de campo por cumplir en procura de fondos económicos necesarios para su sostenimiento y desplazamiento a lugares como El Ávila, Mérida e Isla Larga a objeto de trabajar y estudiar en el terreno para aprobar asignaturas obligatorias (Luz María Rodríguez, *com. escrita*, 2022).

No se diga de la aplicación de exámenes con el imponderable más grave: la inestabilidad de la señal de internet de la principal empresa del Estado sumada a la del exterior por varias horas seguidas. En el caso del Congreso Colombiano de Geología del 2021 efectuado en Soatá en tiempos en que la pandemia redoblaba su virulencia... *pánico total*, sin señal (Franck Audemard, *com. escrita*, 2022).

La experiencia de un curso postdoctoral dictado por especialistas franceses (Sirel Colón, *com. escrita*, 2022) se inscribe en el marco de aquellos temas que de por sí habrá que dedicarle reflexiones completas, entre idas y venidas de Francia continental a Martinica.

Entre ellos y con ellos, se darán numerosos debates sobre el tema: los pertenecientes propiamente a cada campo de investigación geológica *sensu stricto*, con actores orientados a la geología de gabinete, tan necesarios como aquellos de la sismología de campo en una suerte de geólogos de “botas y batas”, por la obligatoriedad del laboratorio de muestras. Por ello, La geología de satélites y drones, queda limitada pero no excluida a la práctica profesional mediante el uso de tecnología, con las consideraciones del caso: un auxilio para el profesional preparado y no el fin último de una investigación, sea cual sea.

El manejo de papeles históricos y sus fuentes en la investigación sísmica nacional

Los repositorios de documentación histórica son la principal fuente de información sísmica de Venezuela, ello lo destacan los más recientes artículos o resúmenes técnicos preparados y/o publicados pre-pandemia o en el curso de ella: (e. g. Aranguren, *et al.*, 2019; Rodríguez Arteaga, 2021).

Su hallazgo resume la búsqueda y obtención de resultados en fuentes bajo responsabilidad y custodiada del: Archivo Histórico de la Universidad de Los Andes, Biblioteca Nacional Febres Cordero y de pesquisas efectuadas en el Archivo General del estado Mérida, Archivo General de Indias, Archivo General de Colombia (Aranguren *et. al.*, 2019) y aquellos ubicados en la capital de la república: Biblioteca Nacional de Venezuela, Hemeroteca Nacional, Archivo General de la

Nación, Archivo de Miraflores, Archivo de la Fundación Boulton y Archivo de la Academia Venezolana de la Historia¹ entre muchos de los existentes en territorio nacional.

Los criterios utilizados en esta búsqueda han sido definidos para el Sistema de Teleinformación de Sismología Histórica de Venezuela (<<http://sismicidad.ciens.ula.ve/>>) lamentablemente sin acceso por imponderable ausencia en vías de solución (Christl Palme, *com. escrita*, 2022)

Los datos obtenidos han permitido elaborar una lista de las fuentes que reportan daños ocasionados por eventos sísmicos históricos (entre los siglos XVII hasta mediados del siglo XX) ocurridos en los Andes de Mérida y otras entidades federales venezolanas. Además se incluyen en dicha revisión los reportes de daños ocasionados por eventos hidrometeorológicos como crecidas e inundaciones cuyas referencias se encuentran en un muy extenso archivo no-digital de más de 3.000 entradas y sus referencias. Si bien parte de la investigación fue realizada pre-pandemia, los resultados tangibles fueron puestos a la consideración del público interesado en 2020².

De forma poco ortodoxa fueron consultados vía internet -pese a su lentitud- artículos históricos, trabajos enviados vía correo-e y/o *whatsapp*, por antropólogos, especialistas en urbanismo, e historiadores dentro y fuera del país o sus respectivas cuentas *twitter*, redes sociales y uno que otro blog <<https://laparcasismica.blogspot.com/2021/>> (Leal, 2021). Huelga decir que cualquier vano intento de búsqueda en el interior de la nación, resultó imposible.

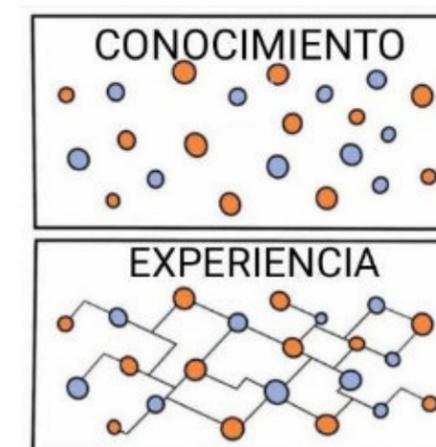
La idea principal se centró en la indagación *en-línea* de textos útiles que nos fuesen llevando al material que buscábamos (e.g. Teleinformática aplicada a la sismicidad histórica de Venezuela, cuya coordinación principal recayó hace años en Christl Palme, PhD quien a nuestras preguntas, respondió: ...“*Un problema a resolver (nada fácil por cierto), es que los repositorios documentales no se pueden consultar nada o muy poco en línea. No hay nada digitalizado y buscar con esto en contra dificulta el trabajo. Una vía de escape suele ser, el intercambio de artículos con conocidos y/o amigos. Yo lo hago así y me reciclo* (Christl Palme, abril 6, 2022)³.

La historiadora Olga González-Silen (@GonzalezSilen en su cuenta *Twitter*) ante la revisión sobre repositorios digitales, responde entre 2020 y 2021: “*Lo que he visto aquí en [la aplicación] es consternación de archivos cerrados⁴...*”, aspecto importante en el marco de una investigación como la que nos ocupa. Dicha investigadora tiene varios años trabajando en la edición del Diario de Phillip de Peyster y desde el punto de vista historiográfico contextualiza un muy importante aspecto: “*Desde el siglo XIX, el legado editorial de publicaciones históricas en Venezuela es de una calidad extraordinaria...* (16 dic., 2021)”. Quizás el problema sea qué: “*Dada la importancia que le proporcionamos a mantener registros accesibles (...) no se presta... atención al hecho de que no hay archivo de fácil acceso en Twitter. ¿Se gastaría mejor tiempo y esfuerzo en una plataforma diferente?*. Interesante respuesta por cuanto la investigadora ha empleado la aplicación como método para hacer presentaciones. Ejemplo de ello se encuentra en: [@GonzalezSilen, julio 31, 2020]: ...: “*Tuitear el siglo XIX en 'tiempo real': Lecciones del diario de viaje personal de Philip de Peyster...*”, razón necesaria y suficiente para proponerlo en el uso local de estudios de Sismología Histórica de Venezuela.

Dada la magnitud de un sismo como 1812, Silen escribirá: [@GonzalezSilen, marzo, 26, 2022]: *Hace 210 años ocurrió el terrible terremoto de 1812 en Caracas y La Guaira. En su diario de viaje, un comerciante estadounidense (@peyster1812) nos dejó sus impresiones de esta magna tragedia.*

Sigue al hilo la narración con fecha de referencia 26 de marzo de 2019 (@peyster1812).

La importancia de estos temas tratados y necesarios en sismología es definitivamente el manejo de información verificada y aplicada tal como señala la figura.



Bibliografía consultada

- Altez, Rogelio. (2020). *A la memoria colectiva se le olvido la gripe española*. [Documento en línea] (21, abril, 2020) <<https://elestimulo.com/climax/rogelio-altez-la-memoria-colectiva-se-olvido-de-la-pandemia-gripe-espanola/>>
- Aranguren, Reina; Ramírez, Luis; Palme, Christl y Choy, José. (2020). *Revisión de la información de sismología histórica de Los Andes de Mérida*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 34(2): 16 pp.
- Audemard, Franck Albert (2019). *Cinco décadas de la huella geológica de los sismos prehistóricos en Venezuela. una actualización*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 34(1): 16 pp.
- Gonzalez-Silen, Olga [@GonzalezSilen], julio 31, 2020: *Conferencia: "Tuitear el siglo XIX en 'tiempo real': Lecciones del diario de viaje personal de Philip de Peyster...*
- Leal G. Alejandra (2021). *La parca sísmica*, [Documentación en línea], (mayo 16, 2021), <<https://laparcasismica.blogspot.com/2021/>>
- Morandi, Silva; José, Choy; y Palme, Christl (2003). *Proposición para crear un sistema de teleinformación de sismología histórica venezolana*. Revista Geográfica de Venezuela, 4(2):319-325
- Murillo Godínez, Guillermo. (2011). *Recordando a la gripe española*, Revista de Medicina Interna de México, México, 27(5):463-466.
- Olivares, Alberto (1997). *Datos históricos sobre las observaciones sismológicas y normas sísmicas en Venezuela hasta 1967*. 17-24 pp. (Diseño Sismorresistente. Especificaciones y criterios empleados en Venezuela, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales 33:662 pp.)
- Palme, Christl, 2022, Correspondencia electrónica, abril 6, 2022
- Rodríguez Arteaga, José Antonio. (2019). *Dibujar un terremoto. Antecedentes de la cartografía isosísmica en Venezuela*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 34(1): 16 pp.
- Rodríguez Arteaga, José Antonio. (2021). *Caricatura, Política y Sismo. El caso del Terremoto de Caracas de 1900*. LXXII Convención anual AsoVac. Simposio del Grupo Venezolano de Historia y Sociología de la Ciencia. 8-9 diciembre, 2021 (Resumen)
- Romero, C., Villacreses, G., Betancourt, F. y Sánchez, C. (2020). *Alternativas para la investigación geológica en tiempos de pandemia COVID-19*. Enero-Junio 2020 <http://estdx.doi.org/10.33210/ca.v9i2.309>. CienciAmérica. 9(2):17 pp.
- Singer Andre y Audemard, Frack, A. (1997). *Aportes de Funvisis al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico*. 25-38 pp. (Diseño Sismorresistente. Especificaciones y criterios empleados en Venezuela, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales 33:662 pp.)

¹ (Dichos repositorios fueron empleados parcialmente en procura de datos en el marco del Simposio de Sociología e Historia de la Ciencia, Venezuela, en la que el autor presentó a consideración de los editores, un resumen para un trabajo *in extenso* (José A. Rodríguez A. 2021, *Caricatura, Política y Sismo, el caso del terremoto de Caracas de 1900* (en preparación)

² (véase Aranguren *et al*, 2019) La cronología ha sido fundamental para un manejo y aparición rigurosa de las revistas especializadas, tal cual este caso y muchos otros, que no se señalan por razones de espacio).

³ (En referencia al artículo: Morandi, Silva; José, Choy; y Palme, Christl, 2003. *Proposición para crear un sistema de teleinformación de sismología histórica venezolana*)

⁴ (las negrillas son nuestras. N/A)

Los biomarcadores, indicadores geoquímicos utilizados para determinar la calidad y naturaleza de los hidrocarburos

compilado por **Luis A. Valencia Flores**
Editor de la Revista

El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos y gaseosos, cuyas proporciones dependen de diversas condiciones de abundancia de materia orgánica, sedimentos, temperatura y presión y a las que son sometidos durante largos periodos de tiempo. El tipo de materia orgánica depositada e incorporada en los sedimentos relacionados a las rocas generadoras de hidrocarburos depende en gran parte de la asociación natural de los diversos grupos de organismos en diferentes provincias y facies geológicas.

Todos los organismos están formados básicamente de los mismos constituyentes químicos: lípidos, proteínas, carbohidratos, ligninas, etc., sin embargo, existen diferencias bastante características con respecto a la abundancia relativa del compuesto y la estructura química detallada. En cuanto a la formación del petróleo, los lípidos son los más importantes, estos incluyen a las sustancias grasas, ceras y componentes de tipo lípido, tales como los pigmentos solubles en aceite, terpenoides, esteroides y muchas grasas complejas.

La composición química en bruto de los hidrocarburos generados expresados como un porcentaje de saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, exhiben similitudes con el bitumen encontrado en rocas generadoras. Sin embargo, los principales cambios en la composición de los aceites son registrados durante la expulsión y migración. Una vez acumulado, el petróleo puede experimentar cambios en su composición debido a varios procesos físicos y químicos. La alteración del aceite crudo tiende a originar cambios en el carácter del mismo, afectando su calidad y valor económico. Los procesos de alteración más importantes son la maduración térmica, el desasfaltado y la biodegradación (Tissot y Welte, 1982).

En términos generales, el petróleo está constituido por dos elementos mayores: carbono (85%) e hidrógeno (13%), conteniendo además cantidades menores de azufre, nitrógeno y oxígeno (2%), y algunos metales en proporciones muy pequeñas como vanadio, níquel, cromo y cobre principalmente. (Bertrand, 1987; Hunt, 1996).

El precursor principal que da lugar al tipo de petróleo generado es llamado Kérogeno, este puede ser formado por materia orgánica de origen acuática como las algas marinas y zooplancton, o bien, por materia orgánica terrestre como las cortezas de árboles, pólenes y esporas. Existe una diferencia fundamental entre la composición química de las algas planctónicas marinas y las plantas superiores terrestres. La materia orgánica del plancton marino está formada principalmente por proteínas (hasta 50% y más), una cantidad variable de lípidos (5 a 25%) y generalmente no más de 40% de carbohidratos. Las plantas superiores terrestres están formadas, en gran parte, de celulosa (30 a 50%) y lignina (15 a 25%).

Los principales grupos de compuestos en los aceites crudos son los hidrocarburos saturados, los hidrocarburos aromáticos, las resinas y los asfaltenos. Los hidrocarburos saturados normalmente constituyen el principal grupo, excepto en los aceites pesados degradados. Contienen alcanos normales además de isoalcanos (parafinas) y cicloalcanos (naftenos). La abundancia relativa de las parafinas y naftenos es comparable en muchos de los aceites crudos, con excepción de los aceites parafínicos y los aceites pesados degradados (Tissot and Welte, 1984).

Los hidrocarburos aromáticos están constituidos por los naftenoaromáticos (aromáticos condensados y ciclos saturados) y los derivados de benzotiofeno (conteniendo heterociclos con azufre). Las resinas y asfaltenos son moléculas policíclicas de peso molecular alto que contienen átomos de N, S y O (Tissot and Welte, 1984).

¿QUE SON LOS BIOMARCADORES? Los biomarcadores o fósiles geoquímicos son compuestos complejos constituidos por carbono, hidrógeno y otros elementos. Los fósiles geoquímicos son moléculas sintetizadas por las plantas o animales. En particular, el esqueleto de carbono de los hidrocarburos y lípidos se preserva. Se encuentran en sedimentos, rocas y aceites, y se caracterizan por no haber sufrido cambios, o éstos han sido mínimos en comparación con la materia orgánica original (Peters and Moldowan, 1993). Los alcanos, ácidos grasos, terpenos, esteroides y porfirinas, son los principales grupos de fósiles geoquímicos. Se pueden rastrear desde los sedimentos del Reciente hasta los muy antiguos, en donde

progresivamente son sometidos a degradación térmica y/o disolución por otros hidrocarburos generados a mayores profundidades. La presencia de los marcadores biológicos en sedimentos y crudos, así como el estudio comparativo con las moléculas sintetizadas ha permitido comprobar el origen orgánico del petróleo.

Debido a que los biomarcadores derivan de moléculas precursoras de organismos que viven bajo ciertas condiciones ambientales, es lógico intentar usar los biomarcadores como indicadores de ambientes de depósito. Las principales familias de biomarcadores empleados en la geoquímica del petróleo son los esteranos y los triterpanos.

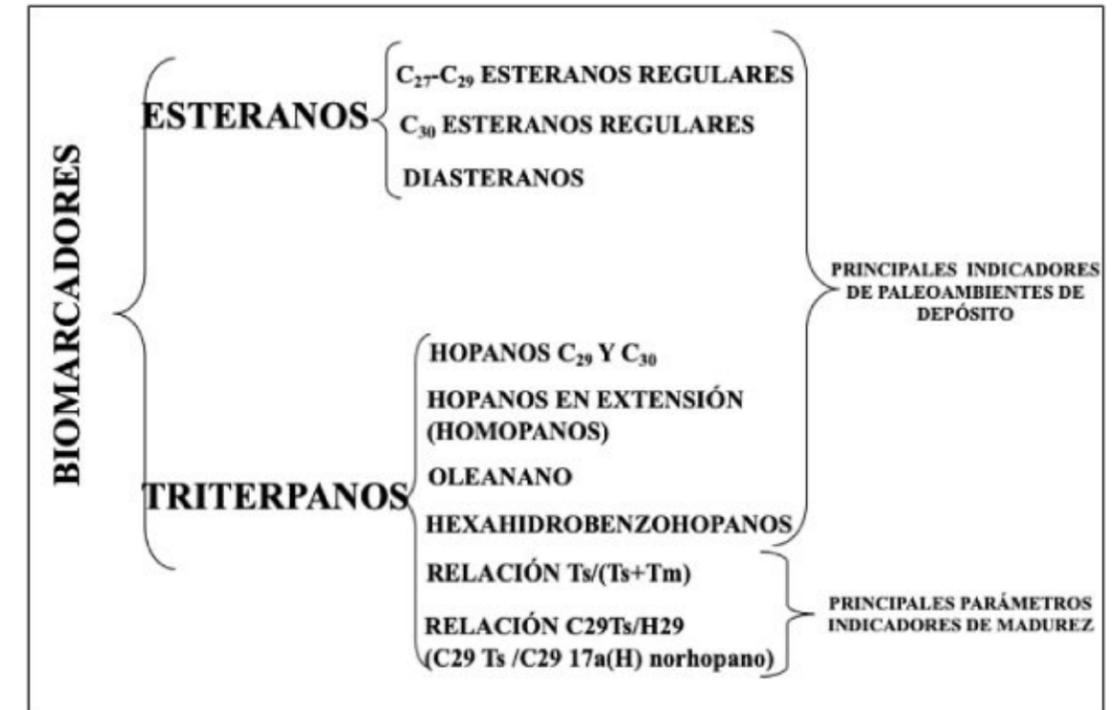


Figura 1. Muestra los principales Biomarcadores utilizados para determinar la madurez y el origen de los hidrocarburos.

A continuación, se describen los principales Biomarcadores:

ESTERANOS

Derivados de los esteroides, encontrados en la mayoría de las plantas superiores y algas, son raros o ausentes en organismos procarotes (Volkman, 1986, 1988). Los principales esteranos regulares son 4 y contienen entre 27 y 30 átomos de carbono.

C₂₇- C₂₉ ESTERANOS REGULARES

Huang and Meinschein (1979) dieron la primer evidencia de que las proporciones relativas de los esteroides regulares C₂₇-C₂₉ en organismos vivos estaban relacionadas con ambientes específicos y sugirió que los esteroides regulares C₂₇-C₂₉ en sedimentos podrían proveer una valiosa información. Ellos propusieron que una preponderancia de esteroides C₂₉ (o esteroides) indicaría una fuerte contribución terrestre, mientras que un dominio de C₂₇ indicaría un dominio de fitoplancton marino. Los diagramas triangulares utilizando los esteroides C₂₇ - C₂₉ han sido empleados con éxito para la interpretación de facies basándose en el principio anterior, Hoffman (1984). Sin embargo, el valor de este diagrama no se puede considerar como algo absoluto, ya que Volkman (1986 y 1988), reporta el esteroide C₂₉ en sedimentos marinos.

C₃₀ ESTERANOS REGULARES

Moldowan et al. (1985) propusieron que los esteroides regulares C₃₀ son usados como los parámetros más poderosos para identificar materia orgánica asociada a rocas generadoras relacionadas con ambientes marinos, ya que solo se encuentran en esas condiciones, Mello et al (1988), lo confirman en cuencas brasileñas.

DIASTERANOS

Parecen estar ligados más con las características de la materia inorgánica que contiene el sedimento, que a su origen orgánico, Siefert y Moldowan (1986). Las lutitas contienen minerales ácidos que catalizan la formación del diasterano, mientras que los medios carbonatados e hipersalinos contienen una baja proporción de diasteranos en comparación con los medios arcillosos, Mokiray (1983), Ten Haven (1985), Connan (1986 y 1987) y otros.

TRITERPANOS

La transformación de triterpenoides a triterpanos probablemente ocurre a través de los mismos procesos que los esteranos, ya que su primera transformación estereoquímica importante se lleva a cabo durante la diagénesis temprana (Waples and Tsutomu, 1991). Los triterpanos pueden ser divididos en tres distintos grupos, con base en el número de anillos, los más comúnmente estudiados son los de cinco anillos y son llamados pentacíclicos (denominados también hopanos), compuestos que contienen entre 27 y 35 átomos de carbono. Los hopanos con más de 30 átomos, se denominan como homopanos o bien hopanos en extensión. Los homopanos comúnmente estudiados, contienen entre 31 y 35 átomos de carbono y están ligados con ambientes de depósito oxidantes o reductores, Waples et al (1990).

El segundo grupo y menos estudiado es el de los tricíclicos, con sólo tres anillos y abundantes en un intervalo de 19 a 26 átomos de carbono. La difusión de los triterpanos tricíclicos, sugiere un origen bacteriano, además la abundancia de estos compuestos está ligada con aguas lacustres salinas y medios carbonatados salinos, Aquino Neto et al (1983). Se encuentran presentes en concentraciones mucho más bajas que los pentacíclicos, sin embargo no han sido examinados tan a detalle como estos. La tercer familia menos estudiada es la de los tetracíclicos y aparecen restringidos entre los 24 y 27 átomos de carbono.

HOPANOS C29 Y C30

Los hopanos C29 y C30, son los dos triterpanos dominantes en la mayoría de las muestras, no son utilizados extensamente como indicadores de paleoambientes, debido a que la relación del pico C30 al C29 es generalmente 2:1, sin embargo aceites y extractos provenientes de carbonatos ricos en materia orgánica y algunas evaporitas podrían tener usualmente altas concentraciones de C29. Riva et al (1989) han sugerido que la proporción de hopanos C29/C30 podrían proporcionar una escala relativa en el contenido de carbonatos dentro de un ambiente de depósito. La relación de C29/C30 es utilizada para caracterizar medios carbonatados, en el caso de que el valor sea mayor que 1, (Philp 1991).

HOPANOS EN EXTENSIÓN (HOMOPANOS)

En contraste con los hopanos C29 y C30, la concentración de hopanos en extensión varía considerablemente de muestra a muestra. Por lo tanto son valiosos como indicadores de paleoambientes (Waples and Tsutomu, 1991). Las distribuciones más comunes con un decremento regular en la altura de picos desde los miembros de C31 a C35, usualmente representan facies clásticas. Inusualmente grandes cantidades de hopanos en extensión C35 parecen estar asociados con carbonatos o evaporitas. Sin embargo Peters y Moldowan (1991) prefieren correlacionar proporciones de alturas C35/C34 en medios marinos con bajo potencial reductor más que en litología, particularmente no todos los carbonatos tienen altas concentraciones de hopanos en extensión C35. Cantidades relativamente grandes de hopanos en extensión C32 y C34 también han sido reportadas en carbonatos y en evaporitas lacustres.

OLEANANO

Se piensa que el oleanano proviene de una variedad de precursores terrestres, especialmente de las angiospermas las cuales producen abundantes resinas (Ekweozor and Udo, 1988; Riva et al., 1988). Su presencia en medios marinos representa en la mayoría de los casos transporte desde fuentes terrestres. Debido a que las angiospermas se cree que proliferaron en tiempos del Cretácico Tardío, la ausencia de oleanano en el Cretácico Inferior y en sedimentos más viejos es entendible. Sin embargo el oleanano también está ausente en muchos sedimentos e hidrocarburos terrestres del Terciario, tal vez por que sus precursores solo abundan en ciertas familias de plantas terrestres.

HEXAHIDROBENZOHOPANOS

Denominados también como hopanoides hexacíclicos, son utilizados raramente. Aparecen como diagnóstico de aceites y bitúmenes provenientes de ambientes depositacionales de carbonatos y anhidritas, Connan and Dessort, (1987) los reportan como representantes de facies evaporíticas conteniendo kerógenos ricos en azufre. Estos compuestos aparecen como picos pequeños entre los hopanos en extensión. Su precisa estructura estereoquímica aún no ha sido determinada.

Cuando se utilizan parámetros de madurez derivados de biomarcadores, se debe tener en cuenta que estos parámetros pueden verse influenciados también por el tipo de facies orgánica y por la naturaleza litológica del medio sedimentario en la que se depositó la materia orgánica generadora. Por lo tanto, al efectuar comparaciones de la madurez térmica entre diferentes aceites, es imprescindible verificar primero que los aceites están genéticamente relacionados y/o han sido generados a partir de materia orgánica depositada bajo paleocondiciones ambientales similares, para determinar la evolución térmica de los aceites, resultan particularmente útiles los parámetros de madurez $T_s/(T_s+T_m)$ y $C_{29}T_s/H_{29}$.

RELACIÓN $T_s/(T_s+T_m)$

La relación $T_s/(T_s+T_m)$ es un parámetro usado para detectar madurez en aceites. Moldowan et al. (1986) muestran que la relación puede variar dependiendo de la facies orgánica. La relación $T_s/(T_s+T_m)$ es más efectiva como indicador de madurez cuando se evalúan aceites provenientes de focos generadores comunes y de facies orgánicas consistentes.

RELACIÓN $C_{29}T_s/H_{29}$ (norhopano)

Se sugiere que la relación $C_{29}T_s/H_{29}$ es tan confiable como $T_s/(T_s+T_m)$. Ambos parámetros señalan un decremento a medida que son más inmaduros y por el contrario, se aproximan a 100% al ir incrementando su madurez.

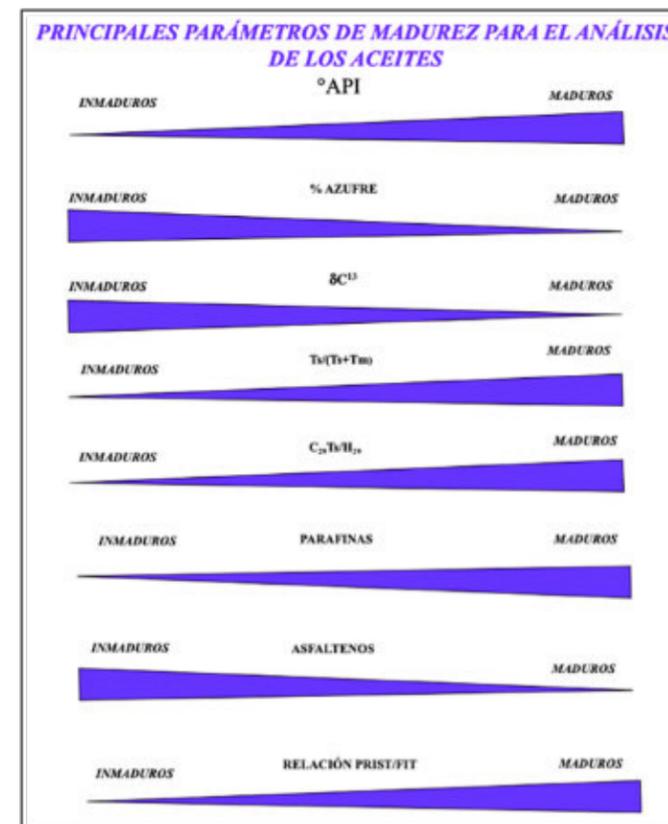


Figura 2. Muestra incrementos y decrementos de parámetros geoquímicos en función de su madurez.

El estado de madurez térmica de las rocas potencialmente generadoras es uno de los principales factores que gobiernan las propiedades físicas del petróleo expulsado (Tissot and Welte, 1984). Con el incremento de la madurez térmica los productos expulsados por ella se ven enriquecidos con compuestos saturados, resultan más ligeros (mayor gravedad API), disminuyen su contenido de azufre (aceites menos amargos y mas dulces), y se hacen isotópicamente más pesados (menos negativos).

Generalmente, cuando la madurez se incrementa, los grados API y el contenido de alcanos normales aumenta también, mientras que los biomarcadores policíclicos son agotados (las moléculas más estables termodinámicamente son favorecidas y son usadas como parámetros de madurez) (Bordenave, 1993). Con base en la gravedad API se le puede clasificar a los aceites de la siguiente manera: El agua tiene una gravedad de 10°API, aceites pesados 25° API, aceites medianos de 25° a 35° API, aceites ligeros son de 35° a 45° API; los condensados tienen 45° API (los rangos varían dependiendo de los autores, Peters and Moldowan, 1993).

Información compilada de diversas fuentes y autores especializados en geoquímica orgánica.

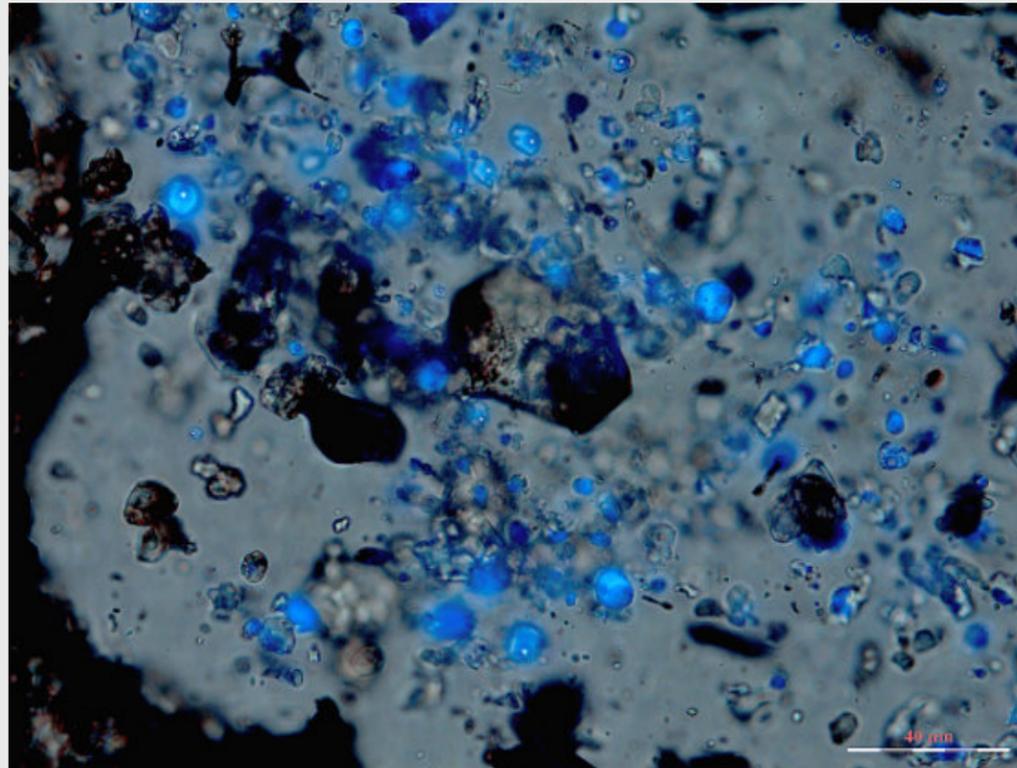
Fotomicrografías provistas por:

Dr. Jordi Tritlla Cambra

Geólogo Consultor

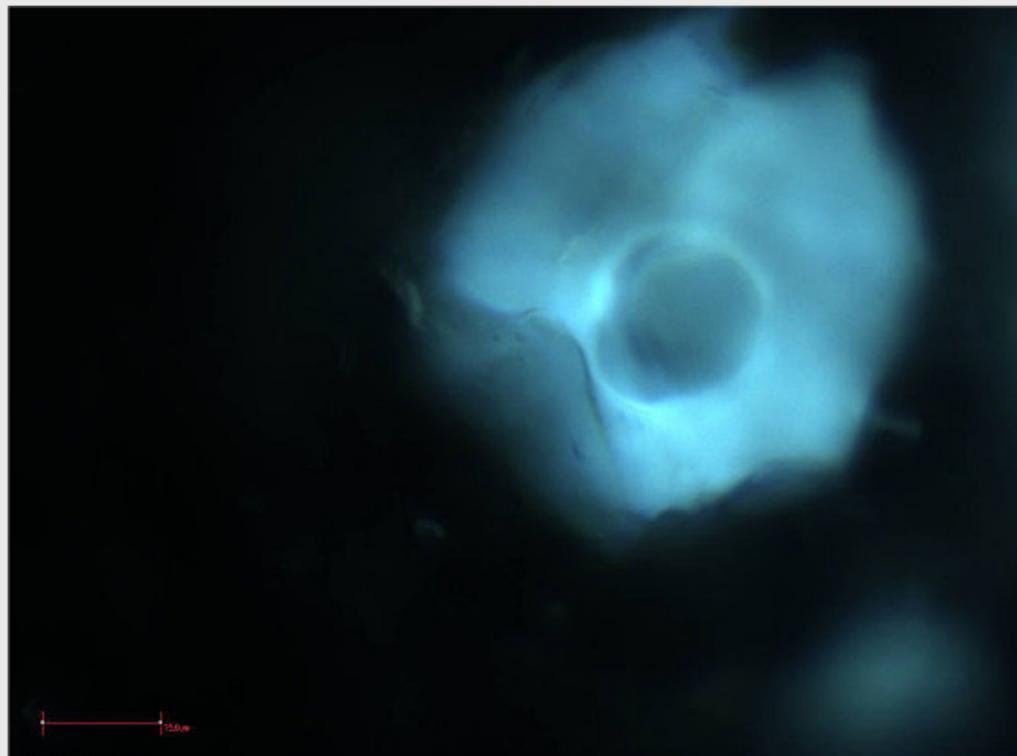
<https://bit.ly/gemix-earth>

Llançà, Prov. de Girona, Catalunya, (España)



Primary hydrocarbon-bearing fluid inclusions trapped in diagenetic fluorite.

Picture taken with combined transmitted polarized and UV epillumination.



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

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

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



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



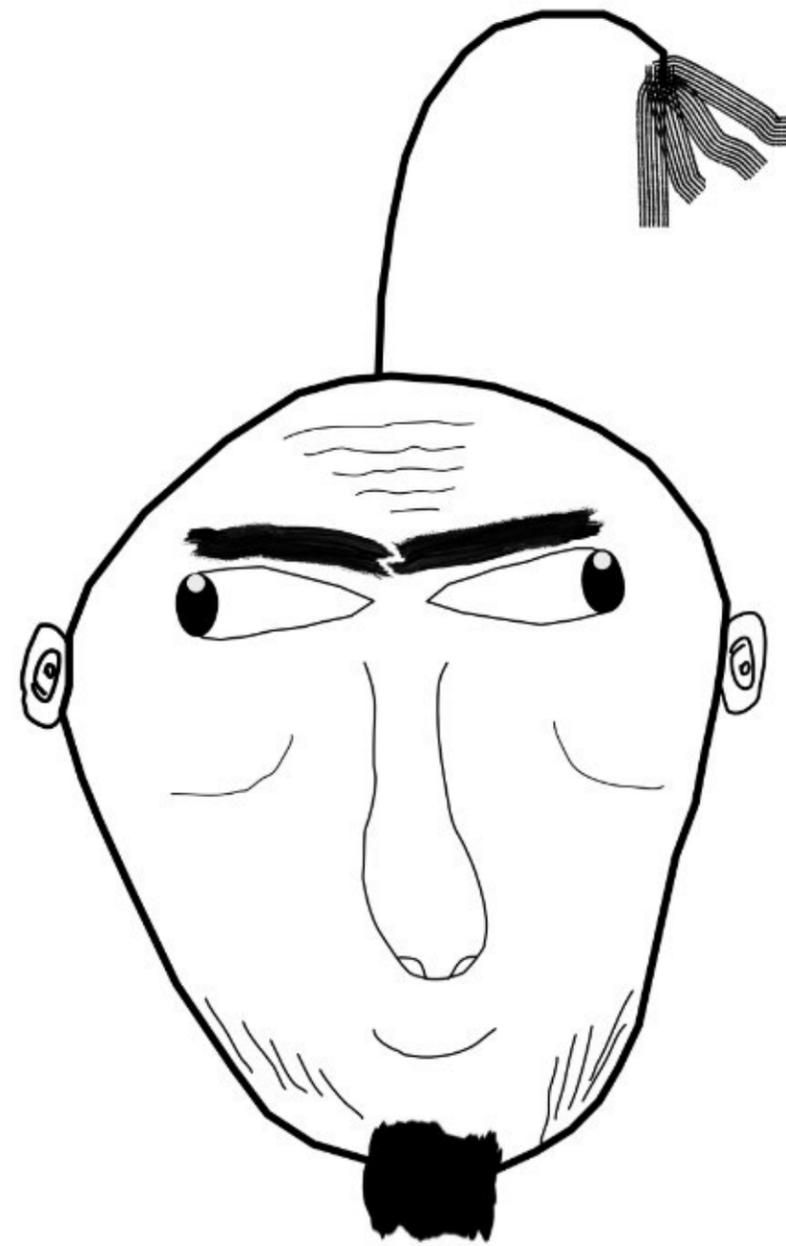
Margas masivas de la parte alta del Grupo Universidad Eoceno medio en la Avenida Presidente en la ciudad de La Habana.



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



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



A nosotros los estudiantes 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 de geología y tienes fotografías de afloramientos de tu área de estudio o de viajes de campo?

Comunícate con

Saúl Humberto Ricardez Medina

ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com

quien está a cargo de organizar esta información.

NOTAS GEOLÓGICAS

Ramón López Jiménez

Colaborador de la Revista

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

El transporte de sedimento en aguas profundas.

Parte 1.

La mayoría de nosotros sabe de la existencia de las olas y las mareas. Podemos ver estos fenómenos a lo largo de nuestras costas y, aunque no prestemos mucha atención, sabemos incluso que las olas y las mareas mueven sedimento que descansa en el fondo marino. Por ejemplo, en playas, estuarios, o en deltas de ríos vemos esas típicas ondulaciones en el lecho marino (en inglés llamadas *ripples*), o incluso podemos llegar a ver canales que se forman en aquellos lugares donde las mareas bajan y suben. Esos *ripples* y esos canales se forman porque las corrientes de agua mueven o desplazan partículas de diferente tipo, como, por ejemplo: arena, fragmentos de conchas o basura de origen humano. Si bucéáramos unos cuántos metros por debajo del nivel del mar podríamos ver ciertas morfologías en el fondo marino comparables a esos ripples y los canales, pero de mayor tamaño. Un buen ejemplo son las dunas y barras submarinas, que son dos típicas morfologías de fondos marinos no demasiado profundos (ver imagen de la izquierda en la Figura 1). Dunas y barras también son formadas por las corrientes de marea y las olas. Entonces, ¿es esto todo lo que podemos encontrar en el fondo de nuestros océanos? ¿Qué pasa si bucéáramos hacia las zonas más profundas a varios miles de metros de profundidad?.

Muchos de nosotros hemos visto mapas de los fondos marinos del planeta denominados 'batimétricos' (www.bbc.com/mundo/noticias-53133238). En estos mapas podemos ver que hay cosas bastante llamativas y que se trata en general de una superficie del fondo marino bastante irregular. Si usáramos la misma terminología que

usamos para describir las morfologías que vemos en los continentes podríamos hablar de que en el fondo marino profundo vemos grandes valles, montañas, volcanes, así como enormes y enigmáticas depresiones. Pero las cosas se ponen verdaderamente interesantes si observamos datos de batimetría de alta resolución. Estos datos son obtenidos con tecnología puntera, por ejemplo, el ecosonda multihaz (www.tecnociano.com/ecosonda-multihaz-multibeam.php).

En estos mapas vemos qué directamente de nuestras costas o en zonas de la plataforma continental cercana a las costas, surgen morfologías muy parecidas a los canales de los ríos que hay en los continentes. Vemos grandes cañones que cortan el talud continental, y que forman serpenteantes canales así van descendiendo hacia las llanuras abisales de los océanos (ver imagen de la derecha en la Figura 1). A estas morfologías las llamamos canales submarinos. Pero, ¿cómo se han formado? ¿por corrientes como las que hay en los ríos de nuestros continentes?, ¿corrientes de agua dentro del océano que crean canales sinuosos en el fondo marino? Sí y no. Estos canales submarinos sí son formados por corrientes, pero no realmente como los ríos en los continentes. Los fondos marinos que se encuentran en zonas a las que llamamos profundas se diferencian de las que llamamos someras en los procesos que dominan el transporte de sedimento (en inglés, somero es *shallow marine* y muy profundo es *deep-water*). Esta definición basada en los procesos dominantes, es estrictamente usada en el área de la sedimentología marina; para otras personas, por ejemplo, las que trabajan en la industria petrolera, la definición de aguas profundas es más arbitraria. Así, para un sedimentólogo marino, en un fondo marino somero el oleaje y las corrientes de marea dominan el transporte del sedimento. En un fondo marino muy profundo son las 'corrientes de gravedad' las que dominan el transporte del sedimento.

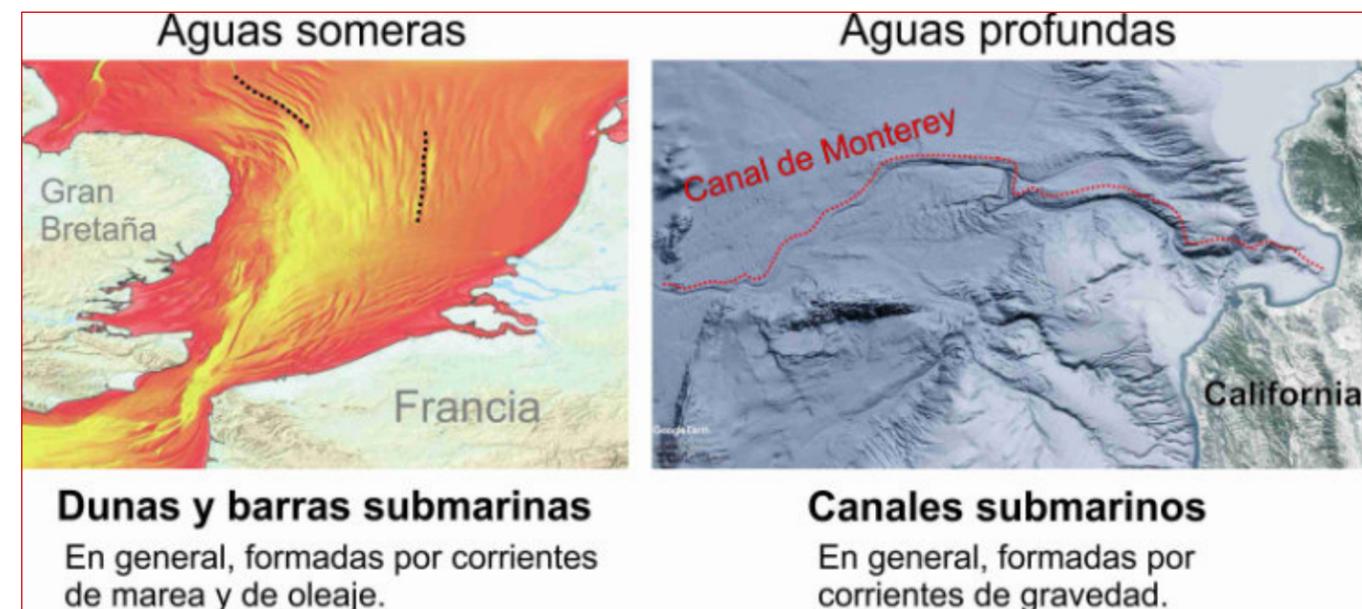


Figura 1. Los dos principales ambientes submarinos: aguas someras y aguas profundas.

En la figura de la izquierda se ven en colores rojos y amarillos relieves en el fondo marino del Mar del Norte. Se trata de barras submarinas de arena que se alargan por decenas de kilómetros (ver la cresta de alguna de ellas marcada con línea negra punteada). En la imagen de la derecha se muestra el canal submarino de Monterey. Este canal comienza como una incisión en la plataforma continental y después va haciéndose más sutil y más sinuoso según continúa por la llanura abisal, ya varios miles de metros de profundidad. El curso aproximado del canal está marcado con una línea roja punteada.

En un fondo marino muy profundo son las 'corrientes de gravedad' las que dominan el transporte de sedimento (ver comparación en Figura 1). Las corrientes de gravedad son aquellas que surgen de la atracción de algún tipo de materia hacia el centro de la tierra. En este caso vamos a enfocarnos en corrientes submarinas de gravedad que se inician por la caída de material sólido. Sabemos de varios escenarios en los que volúmenes relativamente grandes de sedimento caen regularmente a través de la columna del agua marina o directamente comienzan a moverse desde el mismo fondo marino hacia zonas más profundas, por ejemplo: las descargas de sedimento que los ríos realizan en los océanos, el colapso de acumulaciones de sedimentos en las cabeceras de los canales submarinos, deslizamientos de porciones de estas cabeceras de los canales submarinos, o deslizamientos de porciones del fondo marino en cualquier otro lugar. Durante estas caídas de sedimento, se producen mezclas de partículas de muy diverso tamaño y densidad que comienzan a moverse con diferentes velocidades y de diferentes formas. El movimiento de estas partículas sólidas provoca a su vez el desplazamiento del agua que las rodea, ya que tienden a

empujar y arrastrar el agua en la misma dirección en la que caen a lo largo del fondo marino. En este momento ya podemos decir que se ha formado una corriente submarina gravitacional portadora de sedimento. Este nombre tan largo puede ser sustituido por el más común: corriente o flujo turbidítico. Corriente o flujo, en inglés *current/flow*, son términos que se usan como sinónimos, aunque en el estudio de dinámica de fluidos el más adecuado sería seguramente, flujo.

Simplificando mucho, este es el mecanismo que hace posible que una corriente se pueda formar dentro del propio océano. Corrientes que son relativamente efímeras (minutos a horas típicamente), pero que pueden recorrer miles de kilómetros! Lo importante es lo que puede llegar a hacer esta corriente turbidítica en el fondo marino. Y aquí entramos en materia sedimentaria: erosión y deposición. En general las corrientes de los ríos en los continentes y las corrientes turbidíticas erosionan y depositan de una manera bastante similar. Cuando el agua se mueve sobre un fondo compuesto de partículas es capaz de arrastrarlas más o menos distancia, dependiendo fundamentalmente de una propiedad física llamada

viscosidad y de su velocidad. Pero las partículas que forman parte de una corriente también pueden impactar contra aquellas partículas que descansan sobre el fondo, provocando su desplazamiento hacia otros lugares. Estos son mecanismos muy intuitivos que explican el proceso de erosión y deposición. Pero también hay otros fenómenos más complejos que son capaces de erosionar y transportar grandes volúmenes de sedimento a lo largo de tanto los canales de los ríos en los continentes como los canales submarinos. El llamado salto hidráulico es uno de estos fenómenos.

Este fenómeno resulta de una compleja interacción entre la gravedad junto con las propiedades físicas del agua y de las partículas sólidas que hay tanto en el fondo marino como las incorporadas en la corriente. Simplificando de nuevo mucho, algunas corrientes que ya se está moviendo a una relativa alta velocidad si se les frena en un corto espacio pueden llegar a desarrollar una especie de explosión, surgimiento vertical o también llamado 'salto'. Es como una cascada de agua, pero hacia arriba, desafiando la gravedad (Figura 2-1). En los ríos o en canales cuando se observa parece una ola como las que

vemos romper en las playas; pero cuidado, el movimiento de agua que ocurre dentro de estos saltos hidráulicos no tiene nada que ver con aquel que ocurre en las olas que surcan la superficie de los mares. En un salto hidráulico, el agua se mueve violentamente hacia arriba desde el fondo y esto causa una presión negativa que provoca a su vez la absorción del sedimento, de forma que este es incorporado violentamente en la corriente. Es una especie de aspiradora natural que se forma en una parte concreta de una corriente. Estos saltos hidráulicos crean depresiones a veces espaciadas en el fondo marino y se piensa que son mecanismos fundamentales en la formación y mantenimiento de los canales submarinos (Figura 2-2). En el medio submarino, y más aún en aguas profundas, la observación de saltos hidráulicos es muy complicada. El salto hidráulico en el ambiente submarino era hasta hace poco un fenómeno que se suponía su existencia por la observación de morfologías y estructuras sedimentarias compatibles con el tipo de erosión y sedimentación esperado. Sin embargo, los avances tecnológicos y los esfuerzos de investigación algunas personas han hecho posible las primeras observaciones de saltos hidráulicos en canales submarinos (Figura 2-3).

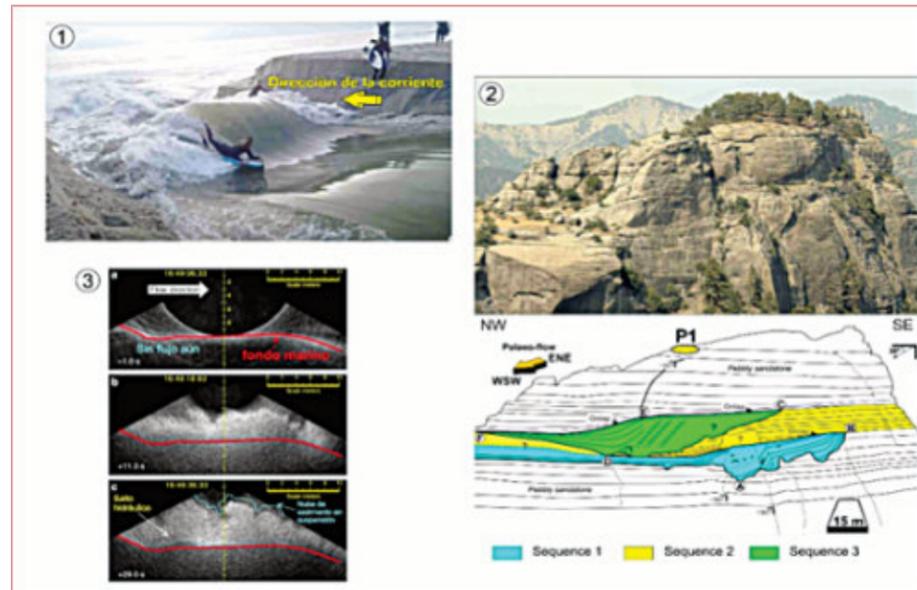


Figura 2. Tres ejemplos que describen diferentes aspectos del salto hidráulico.

1) Una persona surfea justo en la parte trasera de un potencial salto hidráulico o de un 'standing wave' alternativamente, que ha sido producido artificialmente al romper la barra de arena que cerraba un lagoon al mar. El salto hidráulico, aunque parece una ola como las que se forman en la playa, es muy diferente desde el punto de vista de dinámica de fluidos (ver video completo en: <https://youtu.be/eDmoXkF-g9I?t=2782>). 2) Este afloramiento de un relleno de canal del Mioceno en Turquía expone la arquitectura sedimentaria que se interpreta como resultado de al menos dos saltos hidráulicos que ocurrieron en una parte del canal. Las secuencias 1 y 2 muestran depresiones irregulares (*scours*) que son compatibles con las que una 'aspiración' de un salto hidráulico produciría. Nótese las dimensiones de estas paleo-depresiones: más de 15 metros de profundidad (investigación en curso de Channels Geoconsultancy). 3) Estas imágenes de un *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)* en un canal conectado al delta del río Squamish en Canada, muestran evidencia de un salto hidráulico (*hydraulic jump*) a través de la geometría de la 'nube' de sedimento en suspensión que se formó durante un evento de corriente portadora de sedimento (modificado de Hughes Clarke, 2016).

Conclusión

En resumen, hay morfologías en el fondo marino más profundo muy similares a los ríos en los continentes, y los procesos que los forman tienen similitudes, pero las diferencias también pueden ser significativas sobre todo en cuestiones de dinámica de fluidos. De hecho, aún definimos la mayor parte de los procesos que transportan y depositan sedimentos en aguas profundas a través de especulaciones basadas en una serie de asunciones. Por

Referencias

Hughes Clarke, J.E.H., 2016. First wide-angle view of channelized turbidity currents links migrating cyclic steps to flow characteristics. *Nature communications*, 7(1), pp.1-13.



Ramón López Jiménez 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.

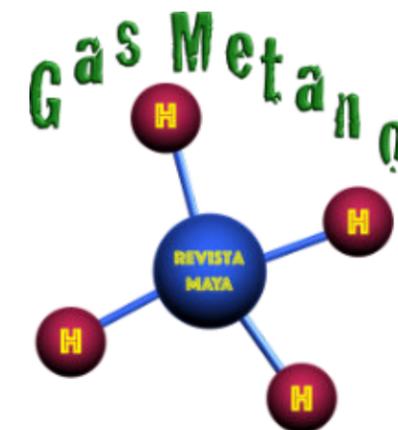
r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

www.channelsgeo.com

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

www.twitter.com/Montxolopez

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



Rizaduras y Dunas

Yam Zul Ernesto Ocampo-Díaz^{1,*} y Iago Ixbalanque Ocampo-Martínez²

1 Área de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, *magonegro_2000@hotmail.com

2 Crescita Montessori, Germán Gedovious #125, Colonia Polanco, San Luis Potosí, S.L.P., México

Introducción

La geosfera terrestre es una delgada capa altamente dinámica en la que se producen cientos o miles de procesos físicos, químicos y bioquímicos diariamente. Como ejemplo de estos procesos físicos y químicos, podemos mencionar a los procesos meteorización física y química que ocurren en la superficie terrestre. La meteorización física (fragmentación) y química (descomposición) son el resultado de la diferencia de presión y temperatura a la que cristalizaron las rocas y los minerales que las constituyen (muy alta), con las que se presentan en la superficie terrestre (muy bajas). La fragmentación y descomposición de las rocas genera partículas de diferentes tamaños (lodos: < 0.065 mm; arenas: > 0.065 mm < 2mm; gravas: > 2mm), que serán transportados por los agentes de erosión como el agua y aire, y que como consecuencia de la pérdida de energía (capacidad) del medio de transportarlos serán depositados o acumulados, pudiendo desarrollar una variedad de formas geométricas denominadas por los geólogos, como estructuras sedimentarias. De acuerdo con Allen (1982), las estructuras sedimentarias desarrolladas en la naturaleza se clasifican como endógenas, cuando se presentan dentro de los límites de las capas de rocas, y exógenas, para aquellas desarrolladas sobre la superficies de los estratos (base y cima). Dentro de la categoría de estructuras sedimentarias endógenas se encuentran las rizaduras y dunas, de las cuales hablaremos en este trabajo.

El presente manuscrito tiene las finalidades de acercar al público en general a los conceptos empleados en Sedimentología -rama de la Geología que estudia los

procesos de formación transporte y depósito de los materiales-, y de presentar la continuación del trabajo titulado “El mundo de las arenas: perspectivas sedimentológicas”, documentado por Ocampo-Díaz y Ocampo-Martínez en el año 2020, en el cual se exponen diversos conceptos básicos y la información que aportan las arenas cuando son estudiadas de manera detallada y minuciosa por los sedimentólogos.

¿Qué son las rizaduras y dunas?

Las rizaduras y dunas son ondulaciones de diferentes tamaños que ocurren en la superficie terrestre, formadas por la acumulación de sedimentos (limos y arenas), que fueron transportados por flujos direccionales como los ríos o viento, o por flujos oscilatorios como el oleaje, cuando estos actúan sobre un sustrato de sedimentos (material no consolidado). Estas ondulaciones (rizaduras y dunas) se caracterizan por una cresta, flancos, fosa o valle, longitud de onda (distancia entre cresta y cresta, o entre fosa y fosa), y una altura de cresta (Fig. 1). Dependiendo del flujo que les origine, las rizaduras y dunas pueden desarrollar crestas simétricas (flujos oscilatorios) o crestas asimétricas (flujos direccionales). Las rizaduras simétricas se caracterizan por flancos y fosas con inclinaciones, longitudes y profundidades similares, por lo tanto, sus longitudes de onda son similares (Fig. 1). Las rizaduras y dunas asimétricas se caracterizan por flancos asimétricos, uno de ellos es más largo y menos inclinado, y el otro es más corto e inclinado (Fig. 1), por lo que presentan longitudes de onda variantes. Al flanco más largo y menos inclinado se le denomina como zona de transporte (Ricci-Lucchi, 1970), o zona del sotavento “*lee side*” (Allen, 1968; Fig.1). En la zona de transporte, las partículas del tamaño de las arenas y limos son transportadas en saltación y acumuladas en la cresta, y posteriormente depositadas en la fosa. Al conjunto del flanco más corto e inclinado con la fosa, se le denomina como zona de depósito (Ricci-Lucchi, 1970), o lado del barlovento “*stoss side*” (Allen, 1968; Fig. 1). La diferencia principal entre las rizaduras y duna es la altura de sus crestas (Fig. 2). Las rizaduras presentan una altura de cresta menor a 10 cm, mientras que las dunas exhiben alturas mayores a los 10 cm. Las rizaduras y dunas se clasifican considerando el medio de transporte que les desarrolló. Cuando el medio de transporte es el agua, se les denomina acuosas o subacuosas, mientras que cuando el medio de transporte es el viento se les clasifica como eólicas o subaereas (Fig. 2).

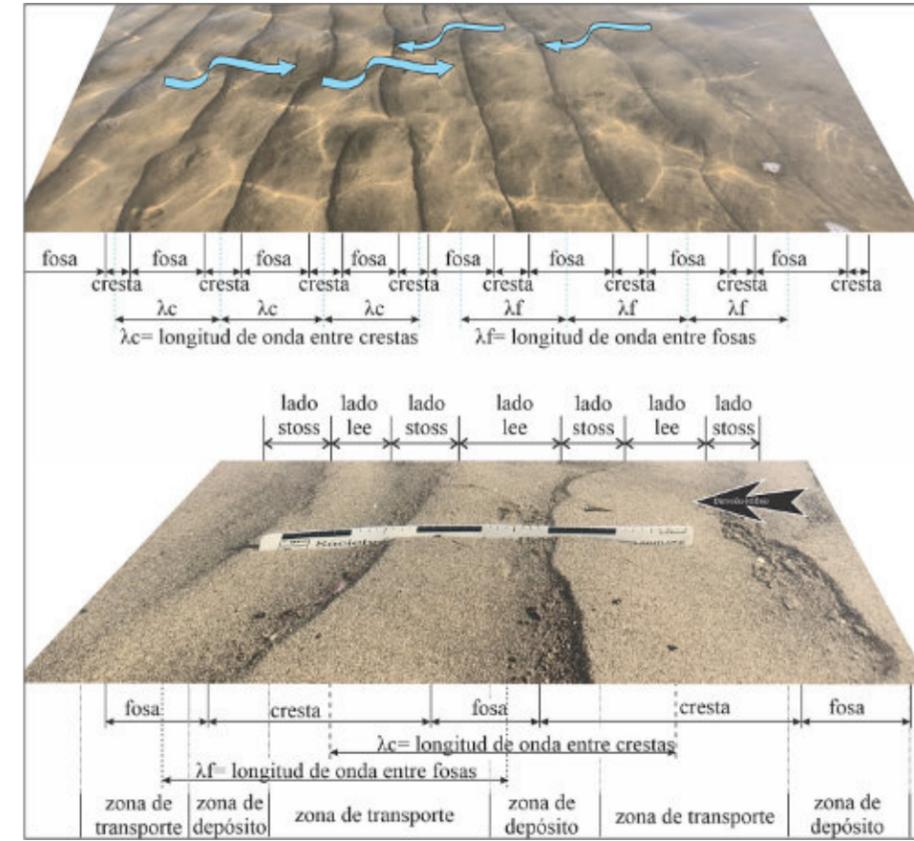


Fig. 1: Partes de las rizaduras generadas por flujos oscilatorios (imagen superior) y rizaduras desarrolladas por flujos direccionales (imagen inferior).

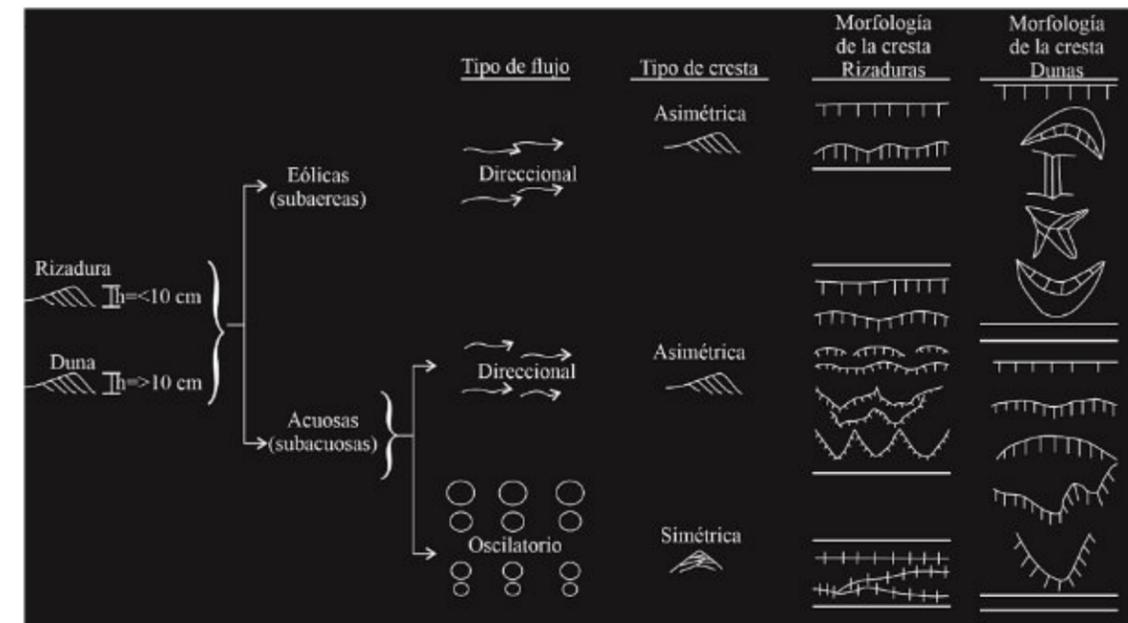


Fig. 2: Síntesis de los procesos de formación de las rizaduras y dunas, y sus formas resultantes. h= altura de la cresta.

Rizaduras y dunas formadas por agua (subacuosas)

El transporte de sedimentos por agua puede ocurrir por flujos direccionales como los ríos y marea de los océanos, o por flujos oscilatorios como el oleaje de los mares. Dependiendo del flujo que transporte los sedimentos será el tipo de cresta que desarrollen las rizaduras y dunas. Si el flujo es direccional, la cresta será asimétrica, mientras que si el flujo es oscilatorio, la cresta desarrollada será simétrica (Fig. 2). Otro factor importante que condiciona la morfología de la cresta de las rizaduras formadas por flujos de agua, es la velocidad del flujo. Es decir, si la velocidad del flujo es baja, las crestas observadas en planta desarrollan morfologías simples, denominadas como rectas y sinuosas (Figs. 2 y 3a). El aumento de la velocidad del flujo favorecerá que las crestas desarrollen morfologías más complejas, denominadas como media luna (Fig. 3b), linguoides y rómbicas, siendo estas últimas las de mayor velocidad (Fig. 2). Cuando el aporte de sedimentos y la velocidad son constantes, el sedimento será acumulado en la cresta, rellenando la zona de depósito y favoreciendo que esta migre en dirección al flujo principal. Este proceso de migración de la cresta y relleno continuo de la fosa, favorece el desarrollo de laminaciones (<1cm de espesor) o estratificación cruzada (>1cm de grosor), lo cual es el registro de la migración de la cresta de las rizaduras y dunas. Dependiendo del tamaño de la duna y del aporte de sedimento, pequeñas rizaduras pueden ser desarrolladas en la zona de transporte, la cuales exhiben sus líneas de cresta paralelas a las de la duna (Fig. 3c).

Las rizaduras y dunas simétricas son generadas por flujos oscilatorios, caracterizadas por desarrollar crestas con longitudes e inclinaciones similares (Figs. 2, 3d-f). En este caso y debido a la simetría de las crestas desarrolladas por el movimiento oscilatorio de los granos de arena, no se desarrolla una zona de transporte, por lo tanto las rizaduras simétricas no migran como las rizaduras y dunas generadas por flujos direccionales. El movimiento oscilatorio del flujo, su moderada velocidad y moderado e interrumpido aporte de sedimentos, solamente desarrolla rizaduras y dunas con líneas de cresta con morfología recta y sinuosa (Figs. 2 y 3d-f). La periodicidad del movimiento oscilatorio de los sedimentos propicia a que se desarrollen pequeñas laminaciones cruzadas en direcciones opuestas, registrando de esta manera la dirección del oleaje.

Rizaduras y Dunas eólicas (subaereas)

Las rizaduras y dunas eólicas son desarrolladas por el viento que se comporta como un flujo direccional, el cual pueden ocurrir en múltiples direcciones preferenciales. Los cambios o interacción de diferentes direcciones de viento, favorecen el desarrollo de dunas con morfologías

de líneas de cresta más complejas, que las desarrolladas en sistemas acuosos (Fig. 4). De manera similar a las rizaduras y dunas formadas en medios acuosos, las rizaduras y dunas eólicas se forman cuando el sedimento transportado en saltación se acumula sobre sus crestas. En este caso, y favorecido por la diferencia de densidades entre los granos de arena y el aire, la cual es mucho menor que la que se presenta en los sistemas acuosos, los granos de arena pueden alcanzar distancias de saltación más largas. Estas grandes distancias de saltación de los granos de arena en los sistemas eólicos favorecen que los granos sean depositados a mayores distancias, por lo que, sus crestas difícilmente migrarán, y por lo tanto no generen laminaciones cruzadas relacionadas con la migración de su cresta. Debido a la velocidad promedio del viento (40m/s), y a sus cambios constantes de dirección, las rizaduras eólicas solamente desarrollan líneas de cresta con morfologías recta y sinuosa (Figs. 2 y 5a-c). Sin embargo, la morfología de las líneas de cresta se pueden presentar más complejas, cuando estas son modificadas por eventos catastróficos como los huracanes, ya que en estos eventos las velocidades del viento pueden ser superiores a los 55m/s. En las dunas formadas por aire, los sedimentos son transportados en la zona de transporte y acumulados en la cresta y zona de depósito. Este proceso favorece a que la línea de cresta migre cuando el aporte de sedimentos y velocidad del viento son constantes (Figs. 2, 4 y 5d-f). La morfología de la línea de cresta de las dunas eólicas no se clasifica como en su contraparte las dunas subacuosas (p.e., rectas y sinuosas), si no que estas se categorizan como transversas, barkham, lineales o seif, parabólicas y en estrella (Figs. 2 y 4). Esta clasificación considera la dirección o direcciones y fuerza del viento, y la cantidad de aporte de sedimentos (Fig. 4). Las dunas transversas se forman por una dirección predominante del viento con baja a moderada fuerza y grandes cantidades de aporte de arena (Fig. 4). Este tipo de dunas desarrollan una línea de cresta perpendicular a la dirección preferencial del viento (Fig. 4). Las dunas de tipo barkham se desarrollan por una dirección principal del viento con moderada a alta fuerza, y moderado aporte de sedimentos. En este caso, la combinación de la moderada a alta velocidad del viento con el moderado aporte de arenas, propicia a que el flujo de aire genere corrientes con direcciones opuestas al flujo principal, a lo cual se le denomina como flujos reversos. La interacción del flujo principal con flujos reversos genera un montículo de arenas que tomará una forma de media luna, en donde sus extremidades apuntarán en la dirección preferencial del viento (Fig. 4). Las dunas lineales o tipo seif se desarrollan por la interacción de corrientes de viento casi perpendiculares entre ellas, y poco aporte de sedimentos. Esta interacción de direcciones de flujo favorece el desarrollo de una línea de cresta casi simétrica

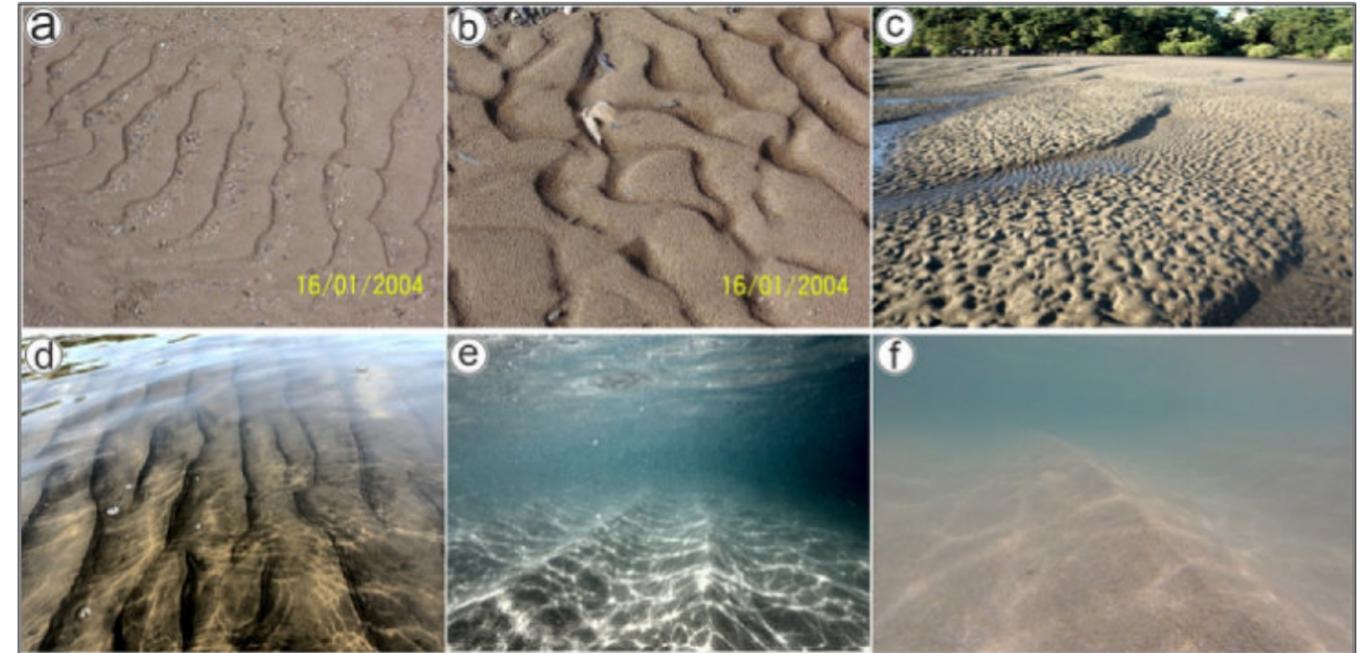


Fig. 3: Fotografías de rizaduras y dunas subacuosas. a) rizaduras con línea de cresta recta y sinuosa (inmediaciones del relleno sanitario de Linares, Nuevo León). b) rizaduras con línea de cresta sinuosa y en media luna (inmediaciones del relleno sanitario de Linares, Nuevo León), dirección del flujo de izquierda a derecha. c) Dunas con línea de cresta sinuosa con desarrollo de rizaduras con línea de cresta en media luna (estero de Zacualpan, Nayarit), flujo de izquierda a derecha. d) rizaduras simétricas con línea de cresta recta y sinuosa (estero de Zacualpan, Nayarit). e) y f) dunas simétricas con línea de cresta recta (playa Majahua, Bahía de Acapulco, Guerrero).

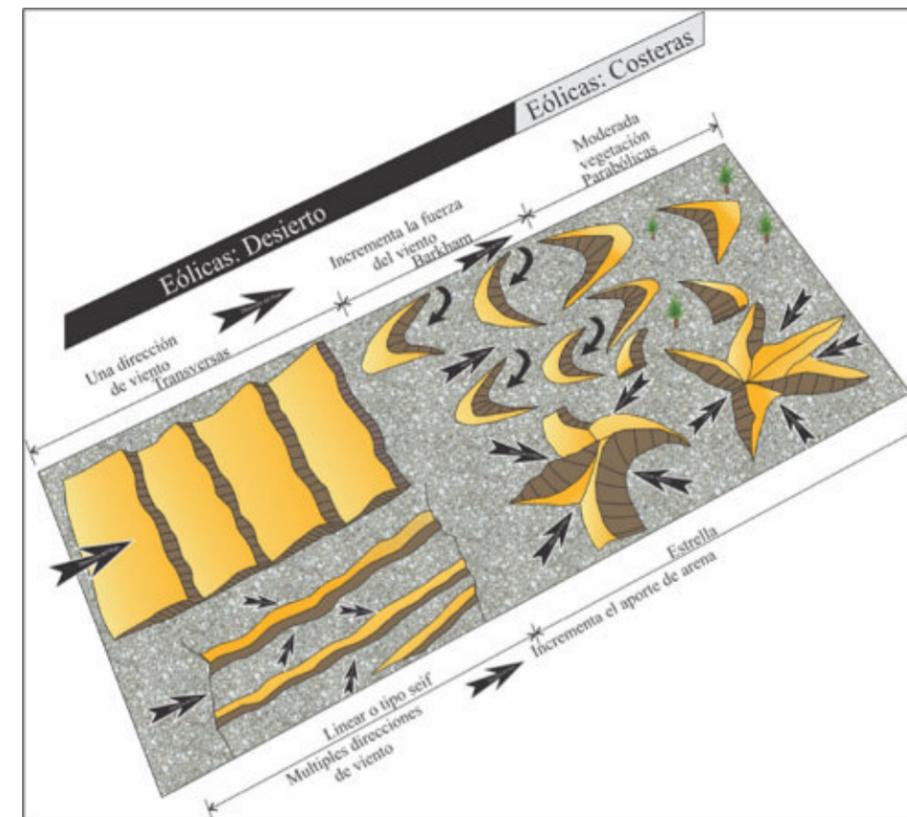


Fig. 4: Desarrollo de los diferentes tipos de dunas considerando las direcciones de viento predominante, cantidad de aporte de arena y vegetación.

que se extiende en dirección paralela al flujo de viento predominante (Fig. 4). Las dunas en estrella se desarrollan por la interacción de tres o más corrientes principales de viento, lo cual favorece la generación de un montículo de arenas que será moldeado por los patrones del viento. Esta conjunción de diferentes direcciones preferenciales del viento favorece el desarrollo de varias crestas unidas al montículo principal, generando la forma de estrellas de tres, cuatro o cinco puntas (Fig. 4). Es decir, mientras más direcciones preferenciales de viento actúan sobre el montículo, más compleja y bonita será la duna (Fig.4).

Las dunas eólicas descritas previamente se desarrollan en ambientes desérticos caracterizados por muy bajas

precipitaciones y escasa vegetación. Sin embargo, en regiones con mayor vegetación como son las áreas costeras, la presencia de vegetación favorece que las corrientes de viento erosionen el sustrato, generando una depresión circular en las que las arenas serán acumuladas. La acumulación continua de sedimentos sobre estas depresiones circulares favorece el desarrollo de una morfología en forma de "U", en donde sus extremidades apuntan en dirección opuesta a la dirección predominante del viento (Fig. 4). A esta acumulación de arenas con forma de U opuestas a la dirección del viento, se les denomina como dunas parabólicas (Fig. 4).



Fig. 5: a)-c) rizaduras eólicas con morfología de línea de cresta recta y sinuosa desarrolladas sobre las zona de transporte de dunas. a) desierto de Altar, Son. (Cortesía de Sandra Degante). b) desierto de Omán, península arábica (Cortesía de Rubén López Doncel). c) dunas de yeso, Cuatro Cienegas, Coahuila (Cortesía de Sandra Degante). d)-f) dunas eólicas del desierto de Omán, península arábica (Cortesía de Rubén López Doncel). Nótese el camello de escala. f) desierto de Altar, Sonora (Cortesía de Sandra Degante).

El continuo aporte de sedimentos, velocidad y fuerza del viento uniforme o ligeramente cambiante, favorece que la línea de cresta de las dunas eólicas migren, desarrollando estratificación cruzada a gran escala (Figs. 6a-g). En este contexto, las dunas de tipo transversal generan estratificación cruzada recta –la estratificación cruzada recta hace referencia a capas inclinadas respecto a las capas superiores– que registran la dirección prevalente del viento. La migración de dunas de tipo barkham desarrollan estratificación cruzada curva –a diferencia de la

estratificación cruzada recta, estas presentan cierto grado de curvatura– que registran la dirección del viento con ángulos que pueden variar hasta 45° de la dirección principal del viento. La dunas lineares o tipo *seif* desarrollan estratificación cruzada recta en dos dirección, mientras que las dunas en estrella generan estratificación cruzada curva en múltiples direcciones, registrando las direcciones preferenciales de los vientos.



Fig. 6: a)-f) Estratificación cruzada a gran escala generada por la migración de dunas eólicas. a) estratificación cruzada recta de las dunas de yeso de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. b) y c) estratificación cruzada curva de las Eolianitas Colorado (Coahuila, México) depositadas hace aproximadamente 150 millones de años, Coahuila. d)-f) estratificación cruzada curva de la areniscas Chelly en la reservación Navajo en Arizona, USA. (Cortesía de Polet Pinzon). g) vista panorámica de la arenisca Chelly en la reservación Navajo en Arizona, USA. (Cortesía de Polet Pinzon).

Importancia de las rizaduras y dunas en las ciencias de la Tierra

Como hemos descrito en páginas anteriores, los diferentes tipos de rizaduras y dunas se forman en diferentes medios naturaleza y bajo diferentes condiciones hidrodinámicas o aerodinámicas. Por lo tanto, la ocurrencia de estas en las capas rocasas de la corteza terrestre ayudan a los geólogos a determinar las condicionaes ambientales que prevalecieron en el pasado geológico, por ejemplo:

- Ayudan a determinar el ambiente en que fueron depositados los sedimentos, es decir, si fueron transportados por agua o por aire.
- En el caso de las rizaduras y dunas formadas en ambientes acuosos, la morfología de la línea de cresta ayuda a determinar la velocidad del flujo. Por ejemplo, las rizaduras con morfología de línea de cresta recta se forma a bajas velocidades, mientras que las rizaduras con morfología de línea de cresta linguoide o rómbica se desarrollan por flujos de altas veolocidades, también llamados como flujos críticos.
- La migración de las rizaduras y dunas subacuosas desarrolla laminaciones o estratificación cruzada, información que ayuda a los geocientíficos a determinar las direcciones de transporte de sedimentos (Ocampo-Díaz y Ocampo-Martínez, 2020), es decir, por donde se movieron los flujos de agua hace miles o millones de años.
- Los diferentes tipos de dunas eólicas permiten documentar las direcciones de viento predominantes, como también, la cantidad de arenas que se necesitaron para desarrollarles. Por ejemplo, las dunas transversas se desarrollan por una dirección de viento y altas cantidades de arena, mientras que las dunas de tipo linear o seif, se generan por la interacción de flujos oblicuos entre ellos, con bajas a moderadas cantidades de arena.
- La ocurrencia de estratificación cruzada a gran escala generada con la migración de dunas eólicas, permite a los científicos documentar las direcciones del viento que prevalecieron en el pasado geológico. Esta

información es importante, ya que con ella se reconstruyen los patrones de viento y sus direcciones preferenciales que ocurrieron en el pasado.

- Por último y no menos importante, la presencia de dunas eólicas o de estratificación cruzada generada por la migración de su cresta, son la evidencia física de que en el pasado se desarrollaron desiertos, o bien, para el caso de las dunas parabólicas, de la ocurrencia de costas.

Conclusión

Para concluir con este trabajo, querido lector, le solicito de la manera más atenta que cuando se presente una lluvia en su localidad, o usted viaje a la playa o zonas costeras, algún río, o desierto, no deje de prestar atención a las rizaduras y dunas que en ellos se pueden desarrollar, y trate de interpretar las condiciones en que estas han sido generadas. Cualquier duda que usted tengan no dude en escribirme, y con todo gusto trataremos de resolver sus dudas.

Referencias

Allen, J.R.L. (1968) *Current Ripples: Their Relation to Patterns of Water and Sediment Motion*. North-Holland Publishing Co., London, 433 pp.

Allen, J.R.L. (1982) *Sedimentary Structures: Their character and physical basis*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 592 pp.

Ocampo-Díaz, Y.Z.E. y Ocampo-Martínez, H.H. (2020) El mundo de las arenas: persspectivas sedimentológicas. *Universitarios Potosinos*, **247**, 10-15.

Ricci-Lucchi, F. (1970) *Sedimentografia: Atlante fotografico delle strutture primarie dei sedimenti*. Nico a Zanichelli, Bologna, 288 pp.

Yam (derecha), es Geólogo egresado de la UAGro, realizo sus estudios de posgrado en la UANL. Actualmente es profesor en la Facultad de Ingeniería de UASLP. Su interés científico y pasión son los procesos físico de sedimentación clástica y sus depósitos, principalmente marino marginales y profundo. **Ixba** (izquierda), es un niño apasionado de los procesos físicos naturales, sobre todo de los que generan las rizaduras y dunas, y de los vórtices de Von Kármán. Actualmente cursa el primer grado de primaria.



EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DEL EOCENO TARDÍO-MIOCENO TEMPRANO EN EL NORESTE DE MÉXICO

Samuel Eguiluz y de Antuñano

seguiluz662@gmail.com

Introducción

Sucesiones estratigráficas en la Cuenca de Burgos se vinculan estrechamente con la evolución tectónica en el Centro de México. La facies de antepaís, consecuencia de la deformación tectónica del Orógeno Mexicano (Fitz-Díaz et al, 2018), aparece tempranamente en el Turoniano en Zacatecas y migró en tiempo y espacio hacia el oriente y aparece tardíamente en el Thanetiano en la Cuenca de Burgos (Figura 1a, Tardy, 1980; Vega et al, 2007; Eguiluz, 2007). Desde el Paleoceno tardío al Eoceno medio varias formaciones (Wilcox, Reklaw, Queen City, Weches, Cook Mountain y Yegua inferior *sensus* PEMEX) son facies de antepaís, representadas por secuencias genéticas de alta frecuencia que evolucionan como tractos transgresivos y regresivos y progradan hacia el Golfo de México (Galloway et al. 2000; Echanove, 1986; Eguiluz, 2011, Figura 1b). Estas unidades estratigráficas están en bloques segmentados fallas normales de tipo lístrico que deslizan sobre lutita como nivel de despegue en la cima de rocas del Cretácico Superior (Ortíz-Ubillas y Tolson, 2004). Bajo el nivel de despegue el prisma de rocas más antiguas se inclina hacia el oriente, congruente con la emersión del basamento al occidente de esta cuenca (Figura 2, Ewing, 2022).

La base del miembro medio de la Formación Yegua es Eoceno tardío (Eguiluz et al., 2020) y tiene un límite de

secuencia cuya edad dada por foraminíferos y cronoestratigrafía (Berggren y Pearson, 2005) se vincula con el espasmo póstumo de la deformación del Orógeno Mexicano (~39.5 Ma). Datos estructurales e isotopía (⁴⁰Ar/³⁹Ar ~41-40 Ma) justifican la terminación de la deformación en la Cuenca de Sabinas (Tabla 1), que se refleja como discordancia en la Cuenca de Burgos. Las sucesiones Yegua-Jackson (Bartoniano-Priaboniano) son numerosos ciclos transgresivos y regresivos de alta frecuencia, con superficies de erosión y estructuras caóticas observadas en secciones sísmicas y registros de pozos, estos datos sustentan que el aporte siliciclastico fue abundante y posiblemente procede de la erosión continental del centro de México (Figura 2). En este período el flujo de sedimentos hacia el interior del Golfo de México (GOM) formó un cañón submarino (paleocañón Zacate) identificado en superficie y subsuelo al sur de la Cuenca de Burgos (Figura 3, Eguiluz et al., 2022a). En este periodo las facies de margen de la plataforma, talud y piso de cuenca acumularon más de 4,500 m de espesor de sedimentos en bloques estructurales anexos a fallas normales (fallas de expansión), en donde se alojan yacimientos de gas (Figura 3), sin embargo, la facies de planicie costera acumuló un espesor reducido de sedimentos al ser desviados (*bypass*) a sitios con espacio de acomodo mayor. En particular, los bloques fallados de la Formación Jackson alcanzan ~2,400 m de espesor, con tasa de sedimentación acumulada en 1,6 Ma (~0,15 cm/año), tasa de sedimentación más alta comparada con el depósito Wilcox con ~1,200 m acumulado en ~8,8 Ma (Fernández-Turner, 2006).

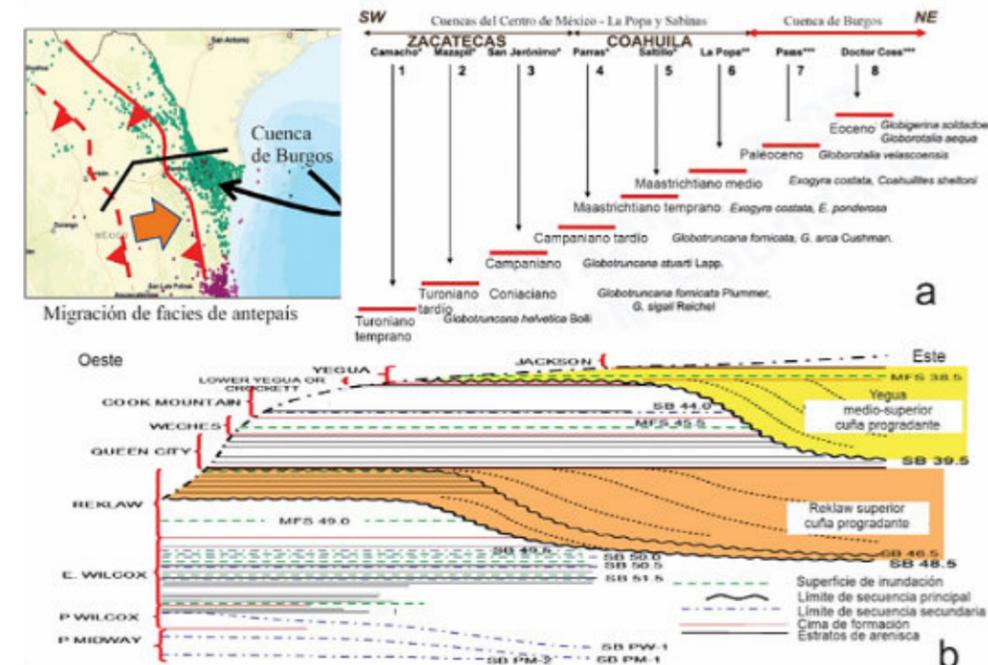


Figura 1. Migración de facies de antepaís registrada por el contenido fosilífero y la primera aparición de arenisca (a). Secuencias genéticas del Paleoceno-Eoceno medio en la Cuenca de Burgos con transgresiones y regresiones de alta frecuencia (b). El límite de secuencia ~39.5 Ma marca un cambio sedimentario relevante mostrado en la Figura 2.

La cima de la Formación Jackson (Eoceno tardío) tiene un prominente límite de secuencia con la Formación Vicksburg (Oligoceno), por bioestratigrafía se ubica en ~33.9 Ma (Segura-Treviño *et al.*, 2006), edad cercanamente coincidente con varios procesos: a) el retroceso de la placa tectónica (34.1 Ma, Iriando *et al.*, 2004; Viera-Decida, *et al.*, 2009), b) con el cambio de

vulcanismo bimodal andesítico-riolítico a vulcanismo unimodal riolítico y c) el emplazamiento magmático del Oriente de México (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005), a este cambio de inclinación de la placa se atribuye la convección de material de la astenosfera hacia la cuña del manto (*slab rollbar*) para dar lugar a plutonismo y vulcanismo efusivo

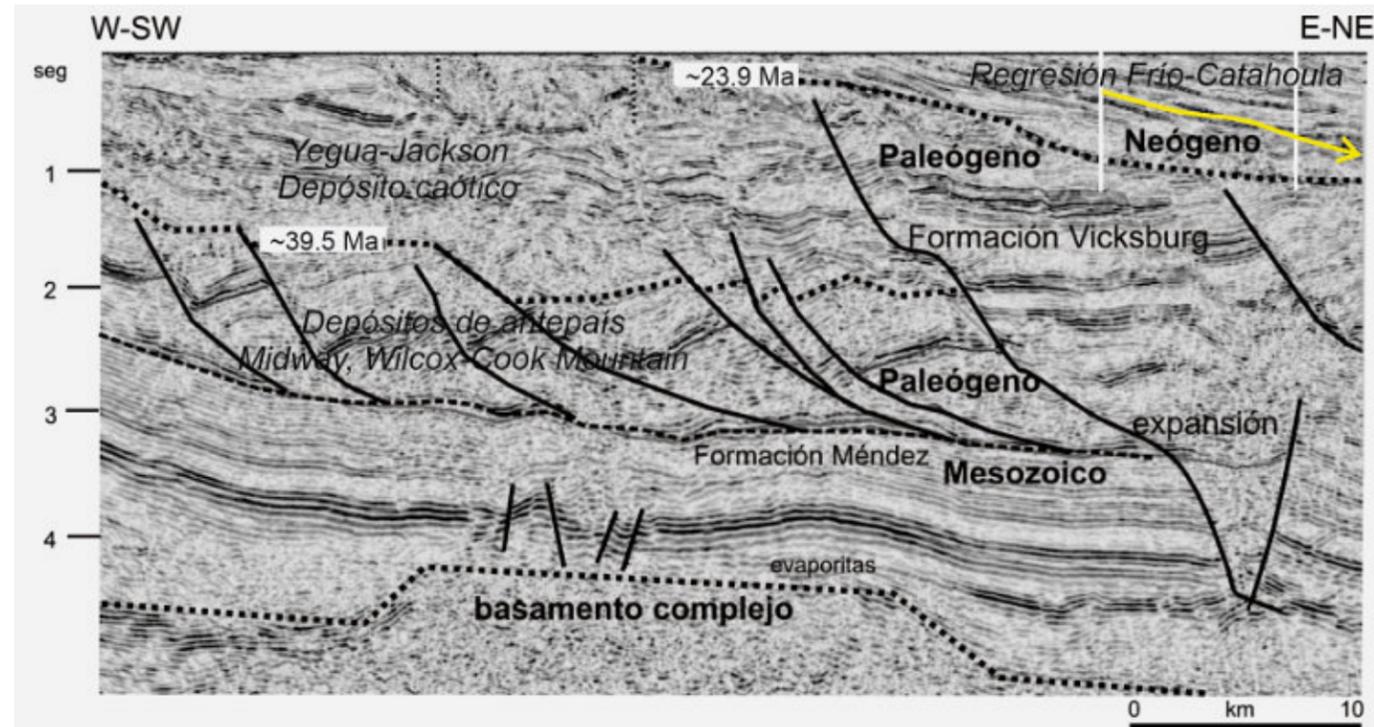


Figura 2. La sección sísmica regional muestra las discordancias relevantes como límites de secuencia (~39.5 y ~23.9 Ma). Explicación en el texto.

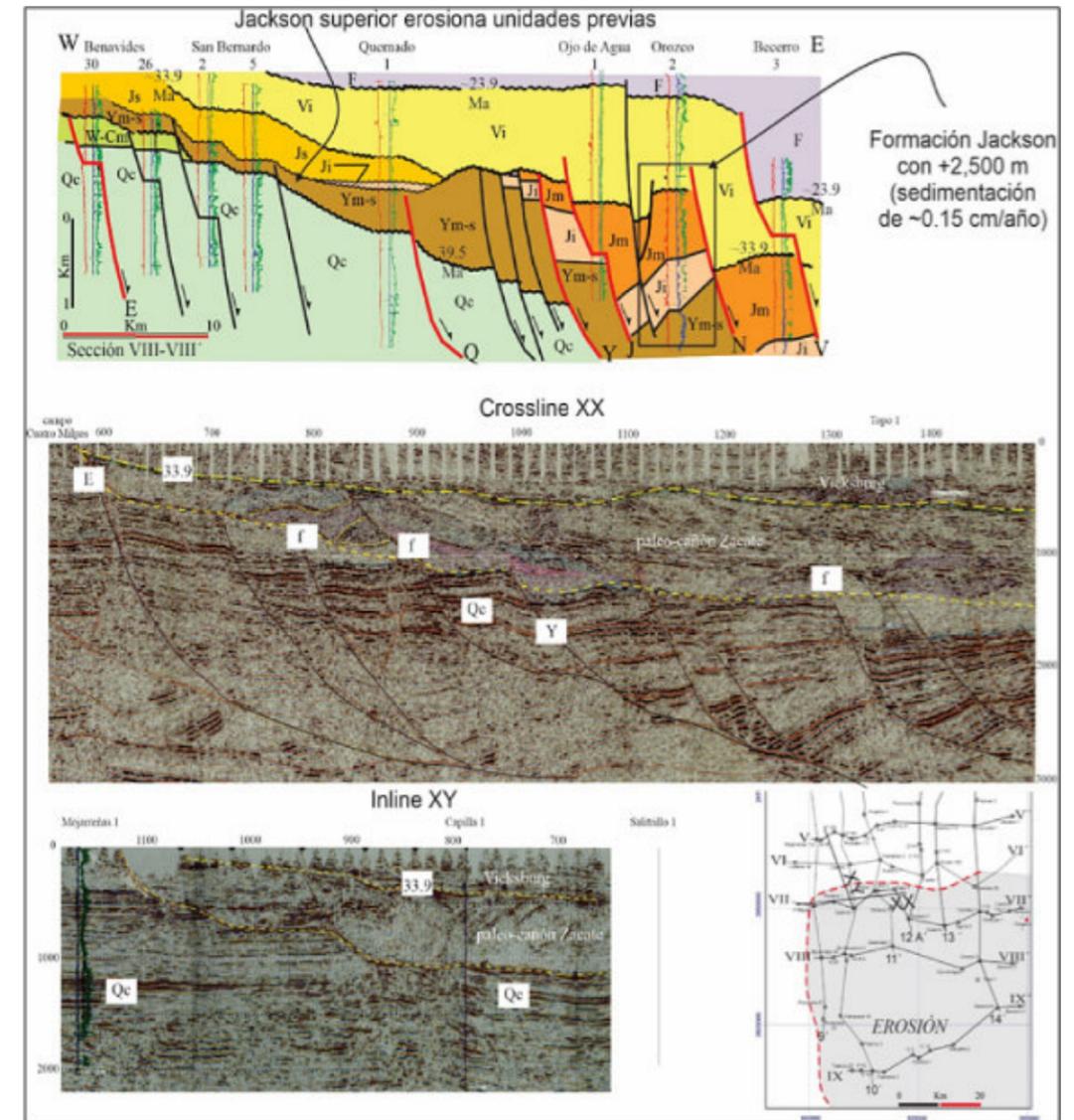


Figura 3. Datos de superficie y subsuelo indican una erosión profunda identificada como paleocañón submarino en el Eoceno tardío al sur de la Cuenca de Burgos. La Formación Yegua inferior y Jackson superior sobreyacen en discordancia a sucesiones previas en un área amplia.

Intrusivo	Relación	Muestra	Tipo de roca	Mineral	Tipo de edad	Edad (Ma)	Error (Ma)
Cerro Mercado	Sin-tectónico	M-11	Mz	Hornblenda	Promedio	45.29	± 0.19
Cerro Mercado	Sin-tectónico	M-11	Mz	Hornblenda	Isócrona	44.62	± 0.70
Cerro Mercado	Sin-tectónico	M-23	Mz	Hornblenda	Meseta	44.29	± 0.19
Cerro Mercado	Sin-tectónico	M-24	Mz	Hornblenda	Promedio	44.09	± 0.19
Cerro Mercado	Sin-tectónico	M-27	Mz	Biotita	Fusión total	41.23	± 0.02
La Soledad	Sin-tectónico (?)	S-06	Mz	Hornblenda	Meseta	42.36	± 0.14
Cerro Boludo	Post-tectónico	CB-1	Mz	Biotita	Promedio	40.91	± 0.06
Providencia	Post-tectónico	PP-6	Czmz	Biotita	Fusión total	40.88	± 0.06
El Carrizal	Post-tectónico	EC-1	Czmz	Biotita	Fusión total	39.97	± 0.04
Cerro Boludo	Post-tectónico	CB-1	Mz	Feldespatos-K	Isócrona	39.05	± 0.19
El Pánuco	Post-tectónico	EP-1	Mz	Biotita	Fusión total	35.61	± 0.06
Tetillas	Post-tectónico	LC-4	Sienita	Feldespatos-K	Isócrona	35.13	± 0.10

~39.5 Ma

Tabla 1. Datos estructurales con apoyo de dataciones ⁴⁰Ar/³⁹Ar en intrusivos de la Cuenca de Sabinas indican la terminación del acortamiento tectónico en el Orógeno Mexicano, entre 41 y 40 Ma (Chávez-Cabello, 2005), correlacionable con el límite de secuencia ~39.5 Ma en la Cuenca de Burgos.

durante el Eoceno tardío, Oligoceno y Mioceno (~34.3 a 12 Ma).

La Formación Ahuichila en el centro de México es una molasa continental peculiar (Eguiluz, *et al.*, 2022b), con isotopía de circones U-Pb en tobas y arenisca (Eguiluz *et al.*, 2022c) la edad numérica de depósito para una muestra de arenisca es 28.1±0.5 Ma (Figura 4). Adicionalmente, tres tobas colectadas en la parte media de la formación, mediante análisis TuffZirc dan edades numéricas de 26.4±1.1/-0.4 Ma, 26.2±0.6/-0.6 Ma y 27.8±0.4/-0.6 Ma (Oligoceno). Esta formación tiene plegamiento flexural con

orientación heterogénea (Figura 4), deformación similar se reconoce en estructuras del Bloque Coahuila y en el Levantamiento San Julián (Eguiluz *et al.*, 2022d). Las relaciones estructurales en esta región sugieren un período prolongado de tectónica que terminó, al menos, ~14 Ma más tarde que las estimaciones previas para el acortamiento final del Orógeno Mexicano en el Sector Transversal de Parras.

La Formación Vicksburg es una sucesión que inicia transgresiva y termina regresiva en el Oligoceno, con más de ~3,000 m de espesor acumulados en poco tiempo (~6.5

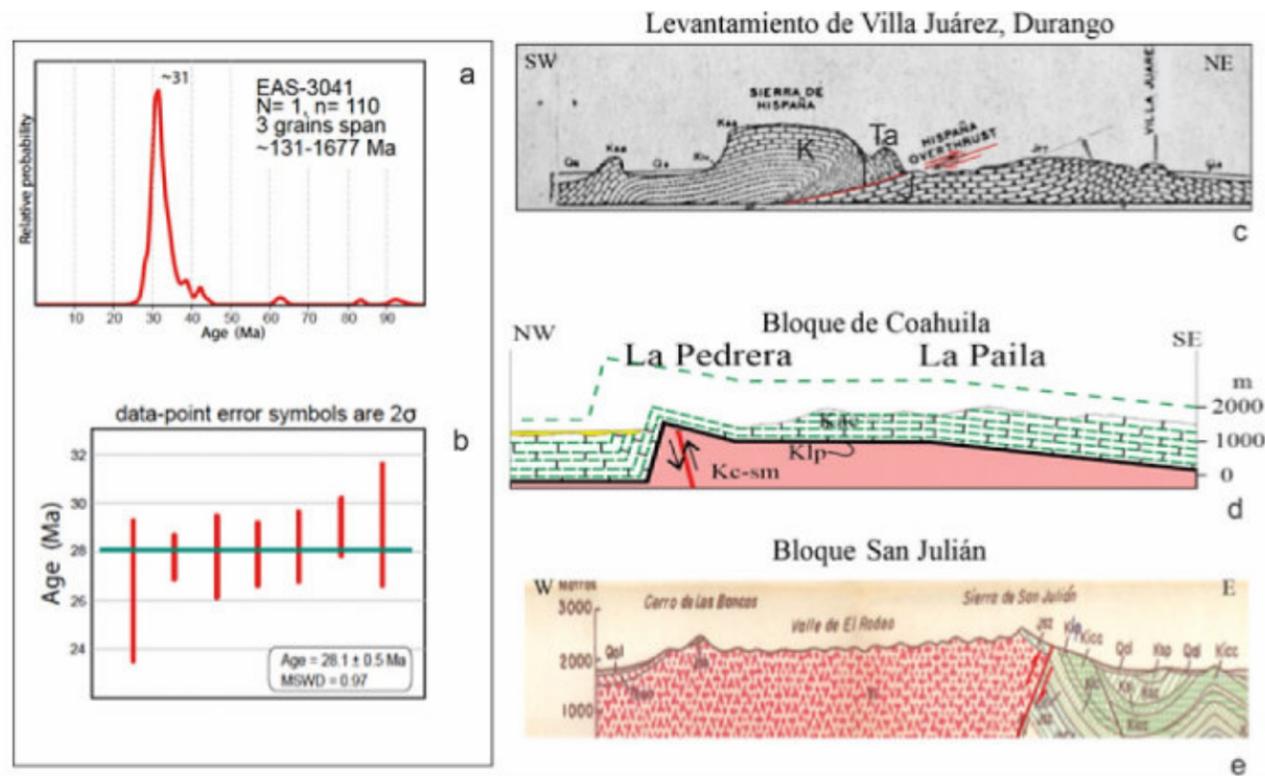


Figura 4. Diagrama de densidad de probabilidad de las edades U-Pb de los granos de circon detrítico (a) de la muestra EAS-3041 (~28.1 Ma). N = número de muestras, n = número de circones analizados. Abajo del gráfico diagrama que muestra la edad de los siete circones más jóvenes en el conjunto de datos y su error 2s, a partir de los cuales se calculó la edad máxima de depósito de esta muestra (b). Las secciones estructurales muestran la deformación de la Formación Ahuichila en el levantamiento de Villa Juárez (c) reportada por Kellum (1936), también descrita en el Bajío de Ahuichila, Coah. (Eguiluz et al., 2022b). Fallas de basamento en el Bloque de Coahuila (d, Eguiluz, 2022d) y en San Julián, Zac., (e, Roger et al., 1956), en las tres secciones el acortamiento tiene sentido de orientación diferente.

Ma), su acumulación máxima ocurre en bloques aledaños a fallas de tipo lístrico. La evolución geodinámica de la región (tectónica activa con magmatismo continental) se manifiesta en la sedimentación potente y petrografía que determina las características de la roca almacén en la Formación Vicksburg (Bernabé-Martínez, et al., 2003), así mismo, el desprendimiento estructural de este depósito sedimentario hacia el oriente posiblemente fue generado por incremento de la inclinación del basamento hacia el GOM (Dieguel et al., 1995). Varios sucesos tectónicos son isócronos con este depósito: 1) la exhumación del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental alrededor de los 30 Ma (Grey et al., 2021) probablemente causó el levantamiento isostático (forebulge) del Arco del Salado-Tamaulipas y apartó la ancestral comunicación de las cuencas de Sabinas y Burgos (Figura 5, Eguiluz et al., 2022a) y 2) el inicio de extensión de fosas y pilares (Ferrari et al., 2005; Nieto-Samaniego et al., 2005) en Durango

(~32-30 Ma), Chihuahua (~29 Ma) y Sonora (~25 Ma). La cima de la Formación Vicksburg tiene una discordancia regional relevante datada en ~23.9 Ma (Berggren y Pearson, 2005; Segura-Treviño et al., 2006; Eguiluz, 2007), sobre ella yace un depósito regresivo de tipo molasa marina y continental escasamente descrito en la literatura geológica de México (formaciones Norma-Frío-Catahoula, Figura 2). Esta discordancia coincide con la edad de deformación que se propone para la Formación Ahuichila en el centro de México, deformación no considerada anteriormente. Se sugiere que esta deformación es Mioceno temprano y se vincula posiblemente a fallas de basamento precursoras del posterior desarrollo de fosas y pilares en el norte de México durante el Mioceno medio-tardío.

Secuencias genéticas de primer orden a las descritas aquí se identifican a lo largo del GOM en el continente y la

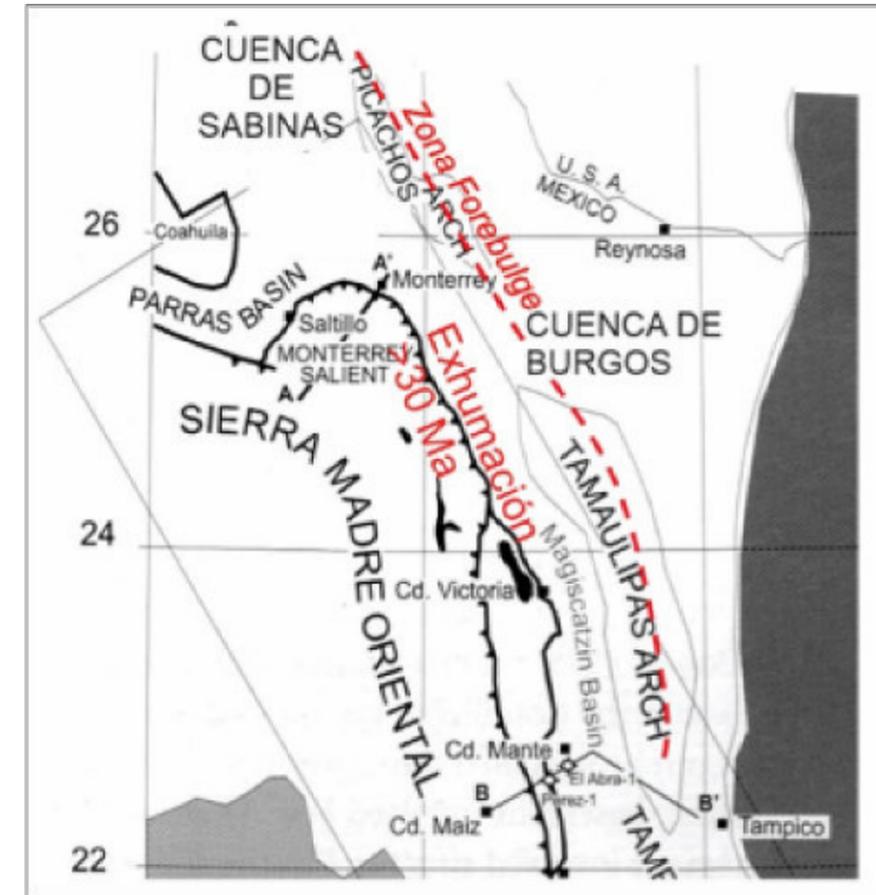


Figura 5. Postulada exhumación del Orógeno Mexicano (Grey et al., 2021) y levantamiento isostático (forebulge) del arco Salado (Picacho)-Tamaulipas que posiblemente apartó a las cuencas de Sabinas y Burgos.

plataforma marina de Veracruz y Tabasco, su estudio ayudará a un mejor conocimiento integral de la geodinámica del Eoceno-Mioceno de México.

Conclusiones

Referencias

Bernabé-Martínez, M.G., Eguiluz-de Antuñano, S., Mendoza-Roldan, M.I., 2003, Estudio de plays del Vicksburg en la Cuenca de Burgos, México, Revista Ingeniería Petrolera, XLIII (3), 48-57.
 Berggren, A.W. and Pearson, N.P., 2005, A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation, Journal of Foraminiferal Research, 35 (4), 279-298.
 Chávez-Cabello, G., 2005. Deformación y magmatismo Cenozoico en el sur de la Cuenca de Sabinas, Coahuila, México. Ph.D. thesis. Universidad Nacional Autónoma de México (226 p).
 Dieguel, E.A., Shuster, D.C., Karlo, J.F., Shoup, R.C., Tauvers, P.R., 1995, Cenozoic Structural Evolution and Tectono-Stratigraphic Framework of the Northern Gulf Coast Continental Margin, AAPG Memoir 65, Salt Tectonics: A Global Perspective, edited by M.P.A. Jackson, D.G. Roberts, and S. Snelson,

Tres límites de secuencia prominentes se identifican en la planicie costera del noreste del GOM y se vinculan con pulsos de deformación en el centro de México. La discordancia ~39.5 Ma corresponde con la etapa póstuma de deformación del Orógeno Mexicano. La discordancia ~33.9 Ma con el inicio del retroceso de la placa tectónica y

Eguiluz de Antuñano, S., 2007, Laramide deformation in the Burgos Basin, Northeastern Mexico, in 27th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference: Houston, Texas, Gulf Coast Section SEPM (Society for Sedimentary Geology), 688-702.
 Eguiluz y de Antuñano, S., 2011, Sinopsis geológica de la Cuenca de Burgos, noreste de México: producción y recursos petroleros, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63, (2), 323-332.
 Eguiluz, y de A.S., Gabriela Solís Pichardo y Francisco J. Vega, 2020, Contribución al conocimiento paleontológico, geocronológico y paleoambiental de la Formación Jackson inferior (Eoceno Superior) en la Cuenca de Burgos, Tamaulipas, México, Paleontología Mexicana, 9 (2), 121-134.
 Eguiluz, S., Juárez-Arriaga, E., and Aranda-Gómez, J., 2022a, Geodynamic evolution Late Eocene-

- Oligocene in the Burgos Basin, Mexico, Geological Society of America, Abstract with Programs, Vol 54, No 1, South-Central Section, 56th Annual Meeting, T11 Tectonics and Sedimentation, Rio Grande Embayment/Burgos Basin Session No. 4. doi: 10.1130/abs/2022SC-373349
- Eguiluz-de Antuñano, S., Aranda-Gómez, J., Juárez-Arriaga, E., 2022b, Estratigrafía y ambientes de depósito de la Formación Ahuichila en el Sector Transversal de Parras, Sierra Madre Oriental, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 74 (1), 1-42.
- Eguiluz, S., Juárez-Arriaga, E., Chávez-Cabello, G., Ramírez-Peña, C. and Aranda-Gómez, J., 2022c, Geochronology and Deformation of the Ahuichila Formation in Coahuila, Durango and Zacatecas states, Mexico, Mesozoic-Cenozoic Tectonic History of Northwestern Mexico and Southwestern USA, Cordilleran/Rocky Mountain Joint 118th Annual Cordilleran/72th Annual Rocky Mountain Section Meeting 2022, Geological Society of America *Abstracts with Programs*. Vol. 54, No. doi: 10.1130/abs/2022CD-373337
- Eguiluz y de Antuñano, S., 2022d, Estratigrafía y deformación del Bloque de Coahuila, noreste de México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 74 (2), aceptado para publicación.
- Ewing, T.E., 2022, Hydrocarbon Systems in the SENO Mexicano (South Texas and Burgos Basin): An initial Examination, Geological Society of America, Abstract with Programs, Vol 54, No 1, South-Central Section, 56th Annual Meeting, T11 Tectonics and Sedimentation, Rio Grande Embayment/Burgos Basin Session No. 3.
- Fernández-Turner R., 2006, Estratigrafía de secuencias del play Paleoceno Wilcox en el área China-Barrilete, Cuenca de Burgos, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Tesis Maestría en Ingeniería, 76 p.
- Ferrari, L., Martín Valencia-Moreno, Scott Bryan, 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, volumen conmemorativo del centenario, temas selectos de la geología mexicana, LVII, (3), 2005, 343-378.
- Fitz-Díaz, E., Lawton, T.F., Juárez-Arriaga, E. y Chávez-Cabello, G., 2018, The Cretaceous- Paleogene Mexican Orogen: Structure, basin development, magmatism, and tectonics: *Earth-Science Reviews*, 183, 56-84. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.002>.
- Galloway, W.E., Patricia E. Ganey-Curry, Xiang Li, and Richard T. Buffler, 2000, Cenozoic depositional history of the Gulf of Mexico basin, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 84, (11), 1743-1774.
- Gray, G.G., Diego Villagomez, James Pindell, Roberto Molina-Garza, Paul O'Sullivan, Daniel Stockli, William Farrell, David Blank and Jonathan Schuba, 2021, Late Mesozoic and Cenozoic thermotectonic history of eastern, central and southern Mexico as determined through integrated thermochronology, with implications for sediment delivery to the Gulf of Mexico, Davison, I., Hull, J. N. F. and Pindell, J. (eds) 2020. *The Basins, Orogens and Evolution of the Southern Gulf of Mexico and Northern Caribbean*. Geological Society, London, Special Publications, 504, <https://doi.org/10.1144/SP504-2019-243>.
- Iriondo A., Michael J. Kunk, and Jeffrey A. Winick, 2004, 40Ar/39Ar dating studies of minerals and rocks in various areas in Mexico: USGS/CRM scientific collaboration. Part II, US Geological Survey Report 46 p., DOI 10.3133/ofr20041444.
- Kellum, L.B., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico, Part III, Geology of the mountains west of the Laguna District: Geological Society of America, Bull., 47, 1039-1090.
- Nieto-Samaniego A.F., Susana Alicia Alaniz-Álvarez, Antoni Camprubí í Cano, 2005, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, volumen conmemorativo del centenario, temas selectos de la geología mexicana, LVII, (3), 2005, 285-318.
- Ortiz-Ubilla, A., Tolson, G., 2004, Interpretación estructural de una sección sísmica en la región Arcabuz-Culebra de la Cuenca de Burgos, Noreste de México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21, (2), 226-235.
- Rogers, C.L., de Cserna, Z., Tavera-Amezcuca, E. y Ulloa, S., 1956, Geología general y depósitos de fosfatos del distrito de Concepción del Oro, Estado de Zacatecas: Instituto Nacional de Investigación de los Recursos Minerales, 38, 129 p.
- Segura Treviño, A., Fuentes, J.N., Ramírez Villaseñor, G., González García, A.V., Guerra Pérez, S., Quintanilla Pérez, M., 2006, Carta bioestratigráfica de la Cuenca de Burgos (cartel), en Simposio de Paleontología, Reynosa, Tamaulipas, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros.
- Tardy, M., 1980, Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique: Paris, France, Université Pierre et Marie Curie, tesis doctoral, 459 p.
- Vega F.J., María del Carmen Perrilliat, Luis Duarte-Torres, Gerardo Durán-Herrera, Roberto Rivas-García, Marcelo Aguilar-Piña, and José F. Ventura, 2007, Eocene strata from the Sabinas Basin and their bearing in sedimentary basin correlation in NE Mexico, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LIX (1), 115-123.
- Viera-Décida, F., Juan Alonso Ramírez Fernández, Fernando Velasco Tapia, María Teresa Orozco Esquivel, 2009, Relaciones petrogenéticas del magmatismo en la provincia alcalina oriental de México, *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León*, XII (1), 42-49.

Agradecimientos

Se agradece a los Drs. José Jorge Aranda Gómez y Edgar Arriaga Juárez las dataciones de la Formación Ahuichila como parte de un trabajo en preparación. A los editores de la Revista Maya por ofrecer su espacio para la publicación

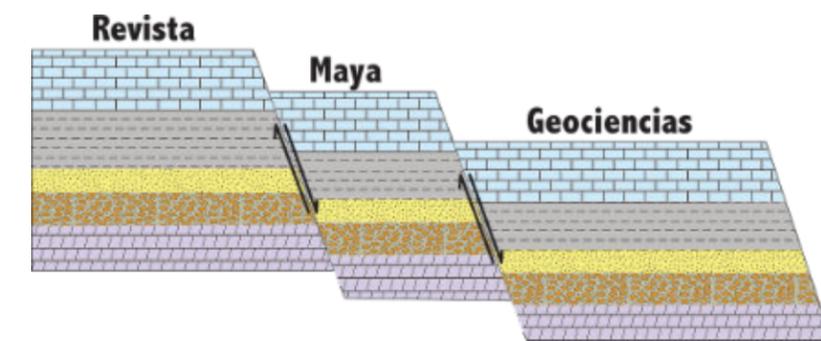
de esta nota informativa, trabajo que es la integración de dos resúmenes presentados por el autor y colaboradores en la reunión anual de la Sociedad Geológica Americana, 2022.

El autor dedica este trabajo a Ariak (2012-2022, QEPD), fiel compañera que me ofreció lealtad y cariño.



Samuel Eguiluz y de Antuñano es ingeniero geólogo egresado de la Facultad de Ingeniería UNAM. Trabajó en exploración minera en Servicios Industriales Peñoles y en exploración petrolera en Petróleos Mexicanos. Ha sido catedrático de instituciones educativas y asesor de campo en actividades mineras y petroleras en México y el extranjero. Es miembro de diversas organizaciones de divulgación científica en donde ha escrito trabajos técnicos diversos.

<https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Eguiluz>



Filamentos microbicos fósiles en las formaciones del límite K/Pg en Cuba occidental

Andrzej Pszczółkowski

Profesor retirado del Instituto de Ciencias Geológicas, Academia de Ciencias de Polonia.

pszczolkowski@yahoo.com

Introducción

La posible relación de las formaciones Cacarajícara (Hatten, 1957) y Peñalver (Brönnimann y Rigassi, 1963) con un impacto del asteroide o bólido fue sugerida – aunque no comprobada - durante dos últimas décadas del siglo XX (Pszczółkowski, 1986; Pszczółkowski et al., 1992; Pszczółkowski, 1999). Actualmente, ambas formaciones se consideran como los depósitos vinculados al impacto

meteorítico ocurrido en el límite K/Pg (Takayama et al., 2000; Molina et al., 2002; Tada et al., 2003; Goto et al., 2008; García Lavin et al., 2013). El impacto mencionado fue reconocido en la península de Yucatán (estructura Chicxulub en Méjico – Hildebrand et al., 1991). La posición paleogeográfica de las formaciones K/Pg de Cuba occidental fue reconstruida (Pszczółkowski, 1999, fig. 20; Takayama et al., 2000, fig. 3; Tada et al., 2003, fig. 3; Goto et al., 2008, fig. 1; Cobiella et al., 2015, fig. 17; Arenillas et al., 2016, fig. 1B), la penúltima propuesta siendo la más rigurosa. La ocurrencia de los filamentos microbicos en las formaciones Cacarajícara y Peñalver no fue reportada en los trabajos publicados. El objetivo de la contribución presente es caracterizar los filamentos microbicos fósiles que ocurren en ambas formaciones.

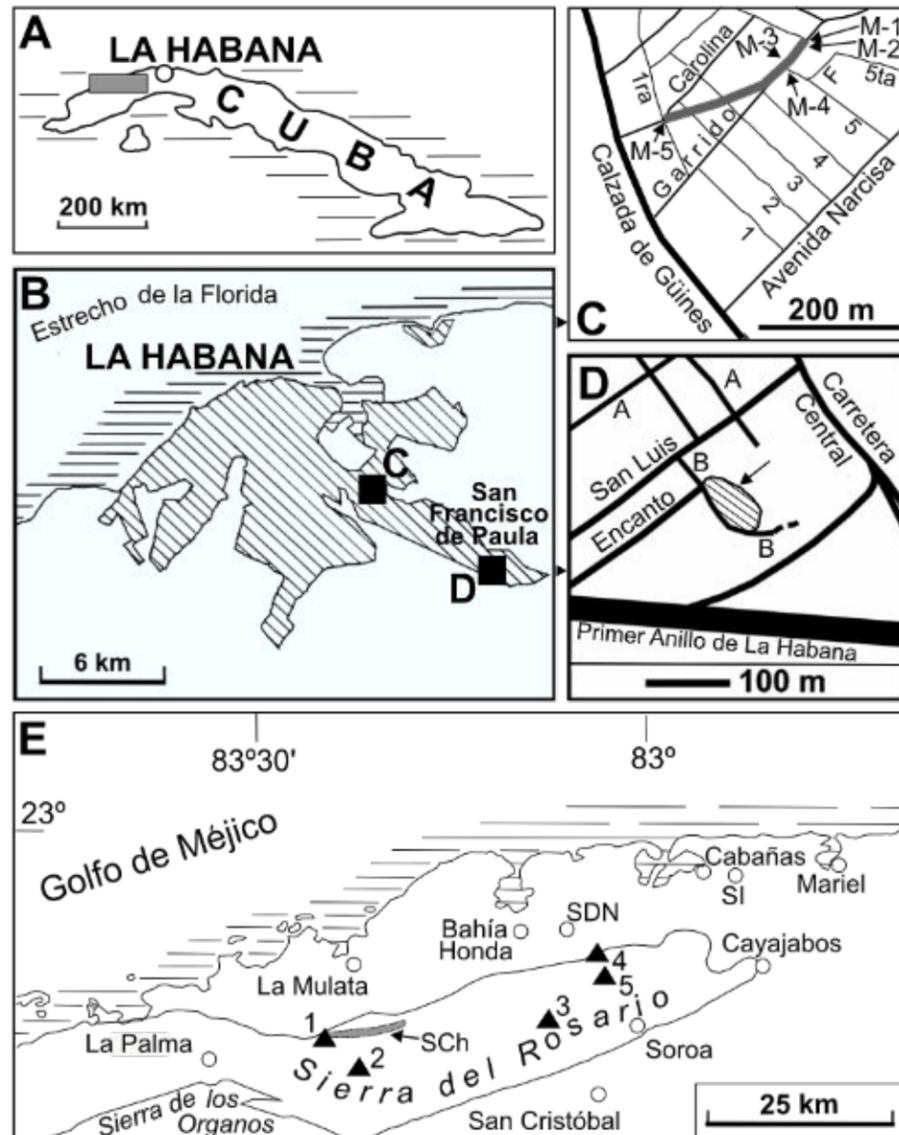


Fig. 1. A – Mapa generalizado de Cuba – la inserción presenta la ubicación del área indicado en Fig. 1E; B – El mapa esquemático de la Ciudad de La Habana y localización de los afloramientos estudiados de la Formación Peñalver: (C) Reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón), (D) Reparto Encanto (barrio San Francisco de Paula); C – la ubicación de las muestras (M-1 hasta M-5) tomadas a lo largo del corte trazado entre las calles Garrido y Carolina (Reparto Carolina); D – Ubicación del afloramiento de La Formación Peñalver (la flecha) en el Reparto Encanto, Barrio San Francisco de Paula; E – El mapa de ubicación de los cortes estudiados de la Formación Cacarajícara en la Sierra del Rosario (Cordillera de Guaniguanico, Cuba occidental): 1 – el corte tipo cerca de San Juan de Sagua (extremo occidental de Sierra Chiquita); 2 – muestra 6P-273 - el afloramiento al sur de Sierra Chiquita; 3 – el corte La Piedra de Genaro; 4 – el corte Lomas de Polier; 5 – muestra AP-47 (afloramiento Los Hoyos); Sch – Sierra Chiquita, SDN – San Diego de Nuñez, SI – Santa Isabel.

Cortes y afloramientos estudiados

La Formación Peñalver fue investigada en dos cortes ubicados en la Ciudad de La Habana (Fig. 1B-D): 1 – Reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón) y 2 – Reparto Encanto (barrio San Francisco de Paula). El corte del reparto Encanto fue descrito por Brönnimann y Rigassi (1963) bajo el nombre Reparto San Pedro. La Formación Cacarajícara fue estudiada en varias localidades de la Sierra del Rosario (Pszczółkowski, 1978, 1994). Aquí se tomaron en cuenta los cortes y afloramientos señalados en la Figura 1E.

El corte La Piedra de Genaro (Fig. 2G) fue estudiado ya en 1990/1991 (Pszczółkowski et al., 1992; Pszczółkowski, 1994). La biomicrita roja de la Formación Ancón contiene foraminíferos planctónicos con *Praemurica* cf. *uncinata* (Bolli) y *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) que indican la Zona P2 del Paleoceno (Daniano según Berggren y Pearson, 2005).

Los foraminíferos planctónicos y nanofosiles calcáreos de las formaciones Cacarajícara y Peñalver

Pszczółkowski (1986) y Gil González et al. (2009) han reportado varios taxones de foraminíferos planctónicos de

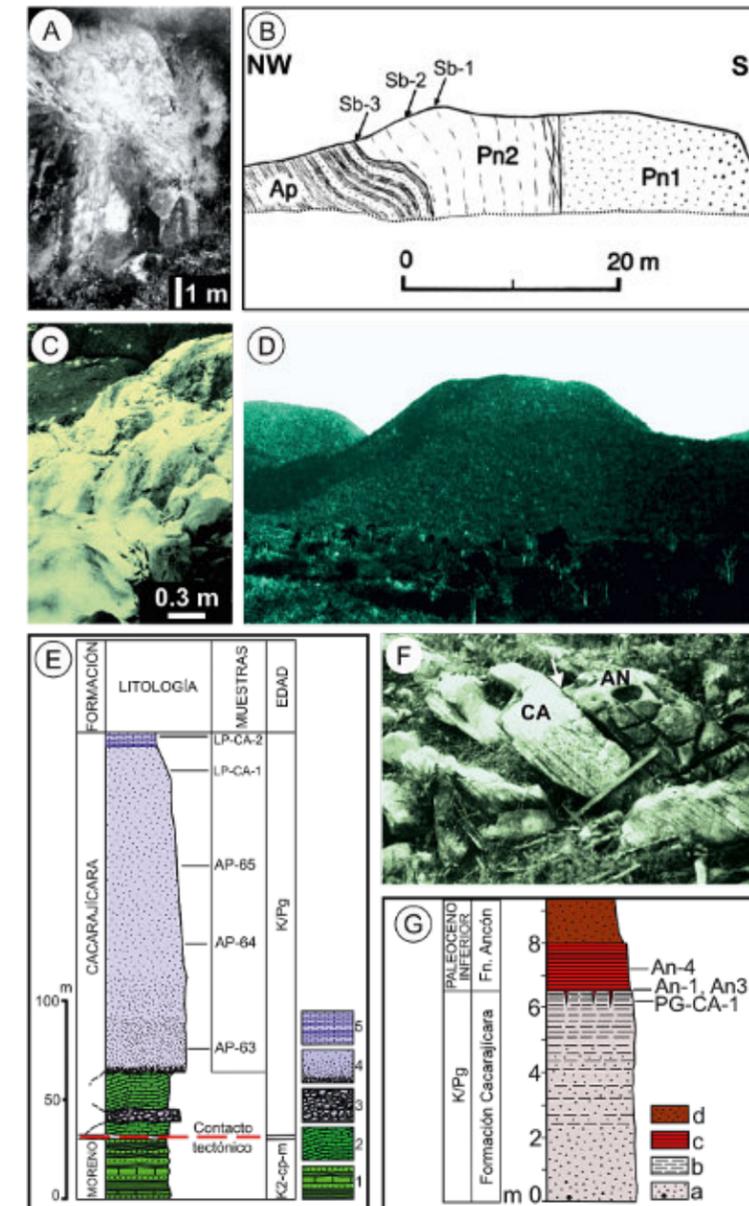
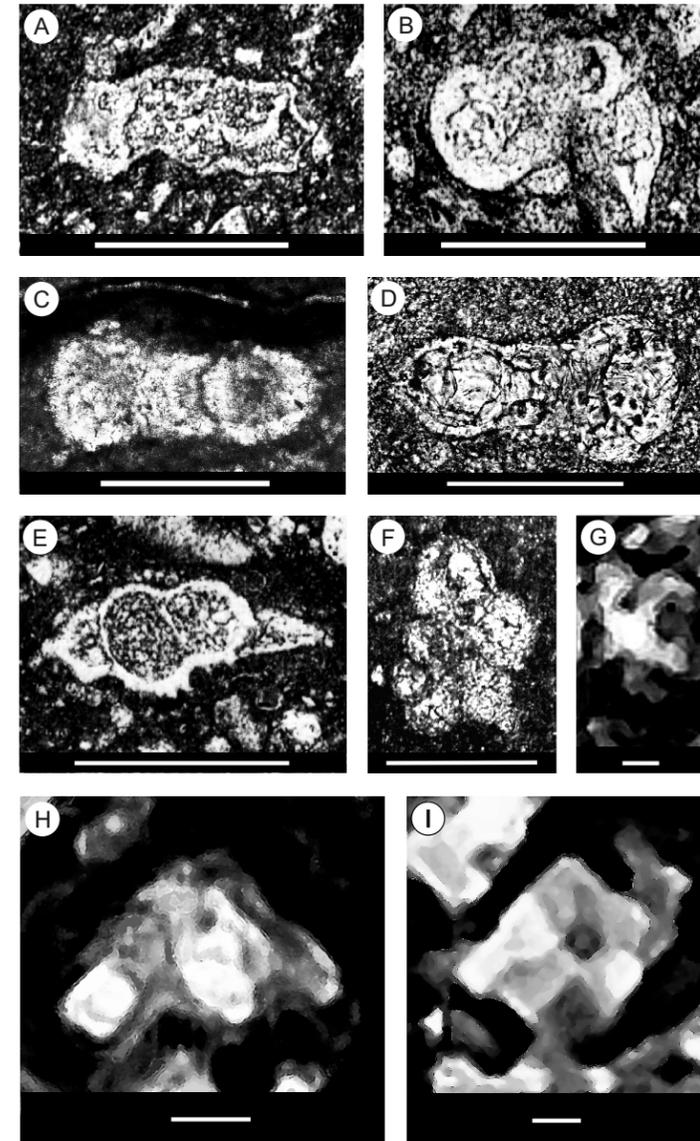


Fig. 2. A – Afloramiento de la Formación Peñalver ubicado en el reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana); B – Afloramiento de las formaciones Peñalver y Apolo en el reparto Encanto (calles Encanto # B, barrio San Francisco de Paula de la Ciudad de La Habana): Pn1 – calcirudita y calcarenita en la parte inferior de la Fn. Peñalver, Pn2 – calcilutita de la parte superior de la misma formación, Ap – Formación Apolo (Paleoceno), Sb-1 hasta Sb-3 - muestras; C – Calcarenita masiva de la Formación Cacarajícara expuesta en el corte de las Lomas de Polier (Sierra del Rosario); D – La Sierra Chiquita en la parte occidental de la Sierra del Rosario: consiste en las calizas clásticas de la Formación Cacarajícara; E – La columna estratigráfica expuesta en el corte de las Lomas de Polier: 1 – sedimentos clásticos y calizas de la Formación Moreno del Campaniano-Maastrichtiano (K2-cp-m), 2–5 Formación Cacarajícara: 2 - silicitas en la parte inferior de la formación (probablemente bloques grandes), 3 – brecha, 4 – calcirudita y calcarenita, 5 – calcilutita; F – El corte expuesto en la localidad La Piedra de Genaro (Sierra del Rosario): CA - Formación Cacarajícara (parte más alta), AN – Formación Ancón, la parte más inferior (el martillo - 50 cm de largo); la flecha indica el contacto de ambas formaciones; G – columna litoestratigráfica del corte La Piedra de Genaro: a – calcarenita de grano grueso a medio, b – calcarenita de grano fino y de estratificación horizontal, c – biomicrita roja, d – caliza arenosa, An-1, An-3, An-4: las muestras tomadas de la Formación Ancón.

la Formación Cacarájicara, pero sin figurarlos. Aquí se presentan tres taxones - *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli) – Fig. 3A, *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann) – Fig. 3B y *Plummerita reicheli* (Brönnimann) – Fig. 3C, así como, los nanofósiles *Micula cf. murus* (Martini) Bukry (Fig. 3H) y *Micula stauraphora* (Gardet) Stradner (Fig. 3I). Brönnimann y Rigassi (1963), Takayama et al. (2000) y Díaz Otero et al. (2001) reportaron varios foraminíferos planctónicos de la Formación Peñalver, pero solamente un ejemplar del *Abathomphalus mayaroensis* ha sido figurado (Díaz Otero et al., 2001, fig. 4). Aquí se exponen: *Plummerita reicheli* (Brönnimann) - Fig. 3D, F y *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann) – Fig. 3E. Además, el nanofosil *Micula prinsii* Perch-Nielsen del corte Reparto Encanto (La Habana) también está figurado (Fig. 3G).



Filamentos microbicos

Los filamentos microbicos ocurren en las calcarenitas y calcilutitas de las formaciones Cacarájicara y Peñalver. En el corte Lomas de Polier (Fig. 2E) estos filamentos aparecen en la muestra AP-63, cerca de 160 m por debajo del tope de la Formación Cacarájicara. Los filamentos uniseriales y los ramificados ocurren entre los clastos (en calcarenita) y en matriz de calcilutita. Además, los filamentos a menudo llenan las cámaras de foraminíferos. No son raros los bio- y litoclastos parcialmente - o por completo - „sustituidos” por estos filamentos microbicos. Incluso algunas esférulas son llenas de filamentos uniseriales y ramificados (Fig. 5G-H). Los filamentos más grandes sobrepasan a 200 µm de longitud (Fig. 4A y Fig. 5I), mientras que los más pequeños no llegan a 10 µm (Fig.

Fig. 3. A – Algunos foraminíferos planctónicos y nanofósiles calcareos de las formaciones Cacarájicara y Peñalver (A-F, barra=100 µm; G-I, barra=1 µm): A - *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli), muestra/sección delgada LP-CA-2, Formación Cacarájicara, el corte Lomas de Polier; B - *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann), muestra/sección delgada LP-CA-2; C - *Plummerita reicheli* (Brönnimann), muestra/sección delgada CP-67d, Formación Cacarájicara, el corte tipo; D - *Plummerita reicheli* (Brönnimann), muestra/sección delgada Sb-1, Formación Peñalver, Reparto Encanto, barrio San Francisco de Paula, Ciudad de La Habana; E - *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann), muestra/sección delgada M-3, Formación Peñalver, Reparto Carolina, barrio San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana; F - *Plummerita reicheli* (Brönnimann), muestra/sección delgada Sb-3, Formación Peñalver, Reparto Encanto, barrio San Francisco de Paula, Ciudad de La Habana; G - *Micula prinsii* Perch-Nielsen, muestra/sección delgada Sb-3, Formación Peñalver, Reparto Encanto, barrio San Francisco de Paula, Ciudad de La Habana; H - *Micula cf. murus* (Martini) Bukry, muestra/sección delgada CP-67e, Formación Cacarájicara, el corte tipo; I - *Micula stauraphora* (Gardet) Stradner, Formación Cacarájicara, muestra/sección delgada LP-CA-2, el corte Lomas de Polier, Sierra del Rosario.

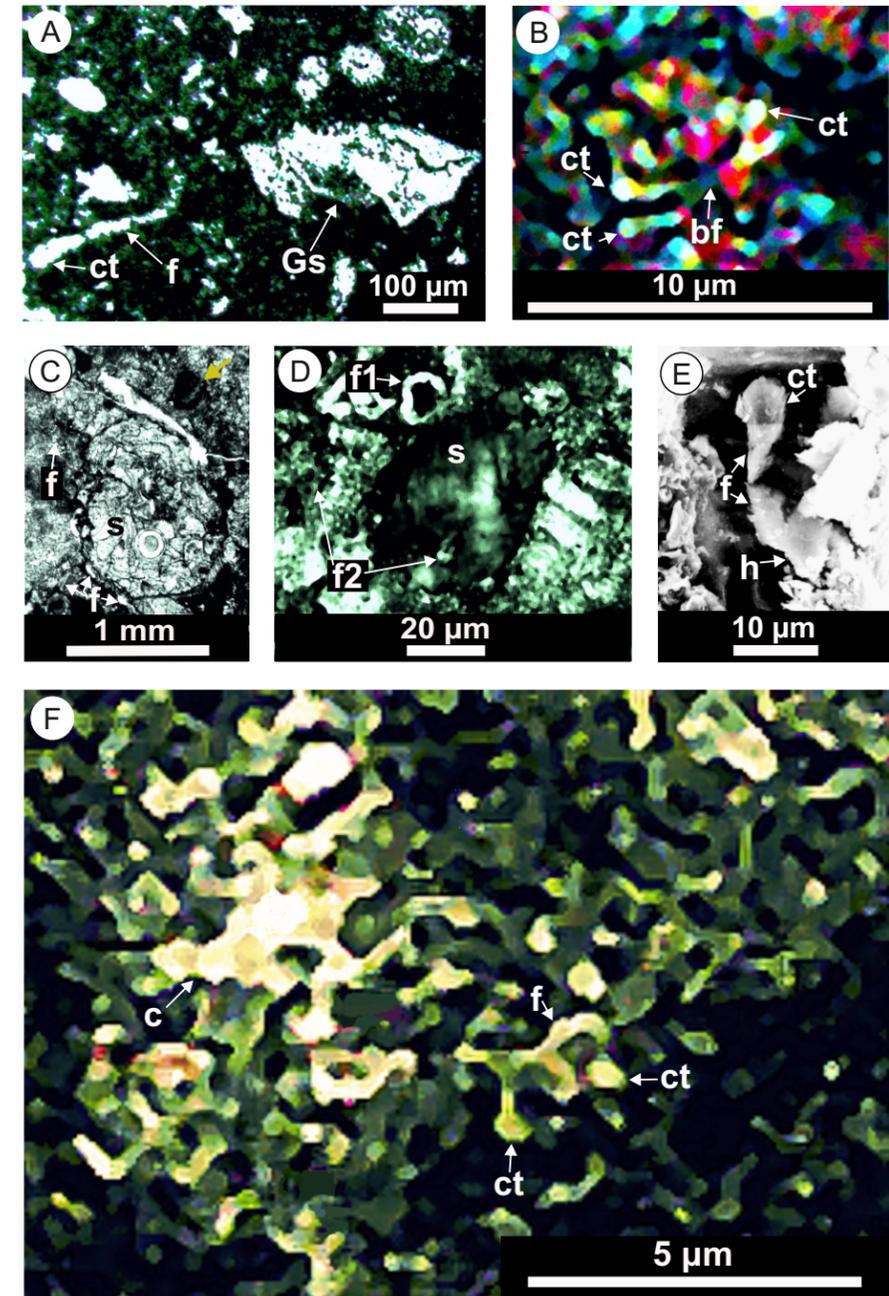


Fig. 4. Filamentos microbicos de la Formación Cacarájicara (Sierra del Rosario): A – El filamento uniserial grande (235 µm de longitud y 15 µm de ancho), (ct) célula terminal (apical) cerca de 30 µm de ancho, (Gs) *Globotruncanita stuarti* (de Lapparent) redepositada de las capas del Campaniano-Maastrichtiano (muestra/sección delgada LP-CA-2, el corte de Lomas de Polier); B – (bf) Principal (o basal) filamento de una estructura microfósil y filamentos microbicos (en forma de araña de luces) cerca de 5,2 µm de longitud, (ct) células terminales de algunos filamentos secundarios (muestra/sección delgada AP-47, Los Hoyos); C – (f) Filamentos uniseriales, 12-24 µm de ancho, situados cerca de una esférula espumosa de calcita (s) 1,7 mm de longitud y 1 mm de ancho. La flecha amarilla indica una esférula negra más pequeña (332 µm de longitud), muestra/sección delgada 6P-273; D – estructura microfósil y filamentos microbicos que ocurren próximos a una esférula negra (s) 42 µm de ancho: (f1) filamento uniserial semicircular cerca de 16 µm de longitud y hasta 3,5 µm de ancho, (f2) numerosos filamentos ramificados 0,8-1,5 µm de ancho (muestra/sección delgada AP-64, el corte de Lomas de Polier); E – (f) Filamento uniserial (24x4 µm), ligeramente dañado en su parte media, (ct) célula terminal (apical), (h) célula basal (para adherir el filamento a otro objeto – “holdfast”), muestra/sección delgada PG-CA-1, el corte La Piedra de Genaro, la imagen del microscopio electrónico – un fragmento aumentado, de color falso); F – Densa red de los filamentos ramificados (muestra/sección delgada CP-67e, el corte tipo, la luz polarizada): (f) filamento principal, (ct) células terminales (apicales), (c) cemento calcáreo concentrado a lo largo de los filamentos.

5E y Fig. 5J: f3) y son muy delgados (0,06-0,3 µm de ancho). En la parte alta de la Formación Cacarajícara (calcilutita) ocurren los filamentos ramificados que forman una densa red microbica (Fig. 4F). A veces se observan las agrupaciones redondas de los filamentos finos (Fig. 5C).

Los filamentos microbicos (Figuras 4 y 5) se interpretan como las bacterias. Los más grandes pueden representar a las cianobacterias (Fig. 4A, E; Fig. 5B y 5I), mientras que los filamentos más pequeños corresponden a varias bacterias, por el momento sin posibilidad de indicar su afinidad sistemática con los taxones contemporáneos (Figuras: 4C-D y 5A, 5D-E). Se puede especular que algunos filamentos ramificados (Fig. 4B y F, Fig. 5F) también pertenecían a cianobacterias (¿Nostocales?). El filamento de forma cónica (Fig. 5J – f1) es similar a algunos taxones de la familia Rivulariaceae Kützing ex Bornet et Flahault. En

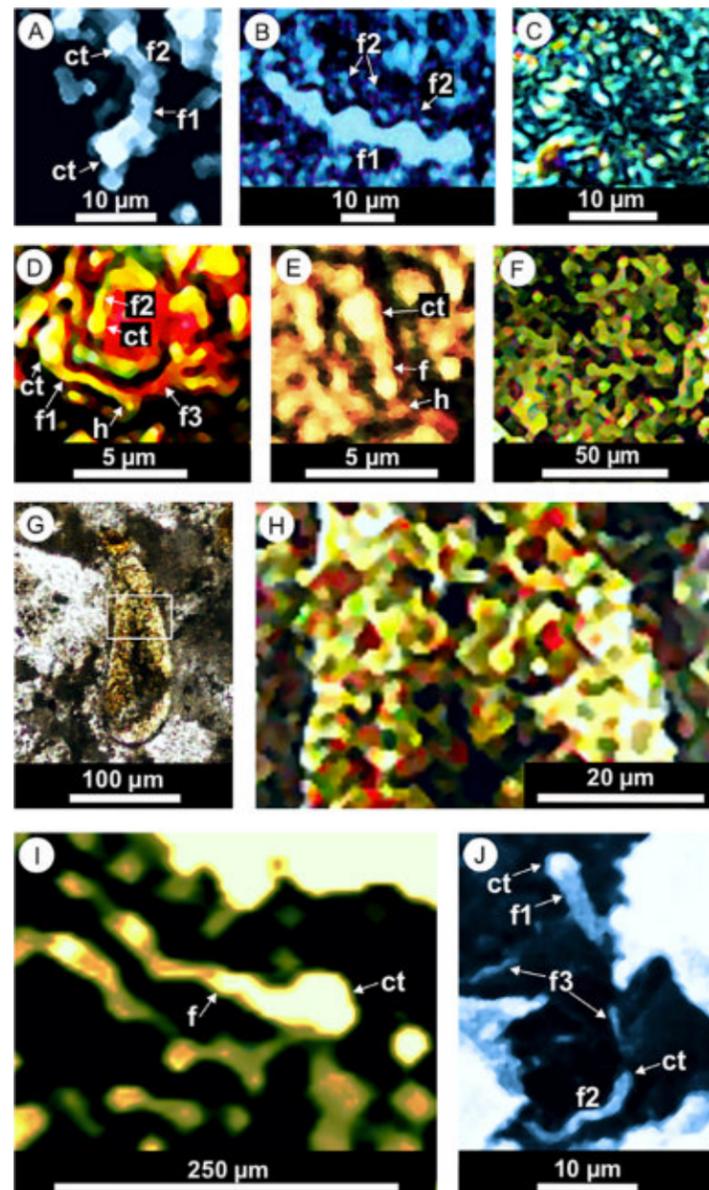


Fig. 5. Filamentos microbicos en la Formación Peñalver expuesta en el Reparto Encanto (barrio San Francisco de Paula) y el Reparto Carolina (barrio San Miguel del Padrón), Ciudad de La Habana: A – (f1) Filamento 2,5 µm de ancho, (f2) filamento 1,5 µm de ancho, (ct) células terminales (apicales) de ambos filamentos (4,7 y 3,8 µm de ancho), muestra/sección delgada Sb-3, la vista normal; B – (f1) espirilo grande cerca de 38 µm de longitud y 2,6-3,4 µm de ancho, (f2) filamentos 0,5-1,7 µm de ancho (muestra/sección delgada Sb-2, Reparto Encanto), la vista normal; C – Agrupación redonda 14,6 µm de diámetro de los filamentos finos (muestra/sección delgada Sb-2, la luz polarizada); D – (f1) filamento uniserial cerca de 5 µm de longitud, (ct) célula terminal en parte cubierta por otro filamento, (h) célula terminal basal (“holdfast”), (f2) filamento ramificado (muestra/ sección delgada Sb-3, Reparto Encanto), la luz polarizada; E – (f) filamento uniserial cerca de 4 µm de longitud: (ct) célula terminal 1,5 µm de ancho, (h) célula basal (muestra/sección delgada Sb-3); F - Filamentos ramificados 2,6-5,6 µm de ancho dentro de la cámara de un foraminífero planctónico. Los filamentos se coronan con las células terminales más grandes (muestra/sección delgada M-1A, Reparto Carolina), la luz polarizada; G – Esférula en forma de una bola alargada 183 µm de longitud llena de filamentos microbicos (el rectángulo indica el fragmento aumentado en Fig. 5H), muestra/sección delgada M-1A, Reparto Carolina; H – Filamentos 1,3-1,5 µm de ancho que ocurren dentro de la esférula; I – (f) filamento uniserial cerca de 186 µm de longitud, (ct) célula terminal (muestra/sección delgada M-4, Reparto Carolina); J - Filamentos uniserials con preservada delicada envoltura (la imagen del microscopio electrónico – un fragmento aumentado, de color falso): (f1) filamento uniserial de forma cónica, (f2) filamento uniserial 1,4 µm de ancho, (f3) filamento uniserial 0,7-0,9 µm de ancho, (ct) células terminales (muestra/sección delgada M-5, Reparto Carolina).

general, las bacterias fósiles de las formaciones Cacarajícara y Peñalver empezaron su actividad después de la deposición de calcarenitas y calcilutitas. Aunque residen en los depósitos formados durante el evento del límite K/Pg, estos filamentos microbicos pertenecen ya al Paleoceno más bajo (Daniano). Sus actividades fueron más prolongadas que el proceso de sedimentación de ambas formaciones. Lo atestiguan las generaciones sucesivas de los filamentos, así como, los clastos “sustituídos” por las bacterias y los frecuentes bioclastos con microperforaciones de origen microbico.

Para obtener más información se pueden aprovechar los resultados publicados por Arenillas et al. (2016) sobre el límite K/Pg en el corte Moncada (Sierra de los Órganos). La Formación Moncada fue definida como una entezona estéril (Arenillas et al., 2016, fig. 2). En la Figura 5H de

Arenillas et al. (2016) se observan los filamentos microbicos (alrededor de un grano de cuarzo) en la parte superior de la Formación Moncada. Además, en la unidad litológica UMU-1 este preservada una densa red de los filamentos ramificados 0,6-3,4 µm de ancho (Arenillas et al., 2016, figuras 5J y 5K, cuando aumentadas y mejoradas). La unidad UMU-1 representa “la Arcilla del Límite K/T” y una parte de la Subzona Hedbergella holmdelensis, abarcando cerca de 6 mil años del Daniano basal (Arenillas et al., 2016). La ocurrencia de los filamentos microbicos en esta unidad permite suponer que las condiciones (paleo)ambientales para las bacterias fuesen favorables (o permisibles) también en las zonas marinas más profundas. Las formaciones Cacarajícara y Peñalver han sido depositadas al sureste de la Formación Moncada (Cobiella et al., 2015).

Las bacterias continuaron sus actividades en las formaciones Cacarajícara y Peñalver hasta la cementación completa de los depósitos más finos de ambas unidades estratigráficas. Dicho proceso fue finalizado en el Daniano, antes de la zona P2.

Referencias

Arenillas, I., Arz, J.A., Grajales-Nishimura, J.M., Meléndez, A. y Rojas-Consuegra, R. 2016. The Chicxulub impact is synchronous with the planktonic foraminifera mass extinction at the Cretaceous/Paleogene boundary: new evidence from the Moncada section, Cuba. *Geologica Acta*, 14 (1): 35-51.

Berggren, W.A. y Pearson, P.N. 2005. A revised tropical to subtropical Paleogene planktonic foraminiferal zonation. *Foraminiferal Research*, 35(4): 279-298.

Brönnimann, P. y Rigassi, D. 1963. Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba and its surroundings. *Eclogae geologicae Helveticae*, 56: 193-480.

Cobiella-Reguera, J.L., Cruz-Gámez, E.M., Blanco-Bustamante, S., Pérez-Estrada, L., Gil-González, S. y Pedraza-Rozón, Y. 2015. Cretaceous-Paleogene boundary deposits and paleogeography in western and central Cuba. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32 (1): 156-176.

Díaz Otero, C., Iturralde-Vinent, M. y García Delgado, D. 2001. Evidencias del “coctel” paleontológico del límite Cretácico-Terciario en Cuba occidental. *Taller Internacional*

sobre eventos en el límite K/T, Memorias Geomin 2001: 24-30; La Habana (ISBN 959-7117-10-X).

Díaz Otero, C., Arz, J.A., Arenillas, I., Molina, E. y Corona, N. 2003. Nuevas consideraciones sobre la edad de la Formación Vía Blanca. V Congreso de Geología y Minería, Geología regional, Memorias Geomin 2003: 109-115. La Habana, ISBN 959-7117-11-8.

García Lavín, Y.W., García Delgado, D.E., Cobiella Reguera, J.L., Blanco Bustamante, S. 2013. Formaciones clásticas-carbonatadas del límite Cretácico/Paleógeno en Cuba occidental. www.monografias.com-geografia (Publicado: mayo 12, 2013).

Gil González, S., García Delgado, D.E., Díaz Otero, C. y Blanco Bustamante, S. 2009. Formaciones del Maastrichtiano Superior en Cuba occidental y central. Composición bioclástica y litofacies. Memorias III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana.

Goto, K., Tada, R., Tajika, E., Iturralde-Vinent, M.A., Matsui, T., Yamamoto, S., Nakano, Y., Oji, T., Kiyokawa, S., García Delgado, D., Díaz Otero, C. y Rojas Consuegra, R. 2008. Lateral lithological and compositional variations of the Cretaceous/Tertiary deep-sea tsunami deposits in northwestern Cuba. *Cretaceous Research*, 29: 217-236.

Hatten, C.W. 1957. Geologic report on Sierra de los Organos (inédito). *Ministerio de Industrias (antes: Fondo Geológico), La Habana*.

Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., Pilkington, M., Camargo, A., Jacobsen, S.B. y Boynton, W.V. 1991. Chicxulub cráter: a posible Cretaceous/Tertiary boundary impact cráter on the Yucatán Peninsula, Mexico. *Geology*, 19: 867-871.

Molina, E., Arenillas, J.L., Arz, J.A., Díaz, C., García, D., Meléndez, A. y Rojas, R. 2002. Micropaleontología, Cronoestratigrafía y Sedimentología del límite Cretácico/Terciario en el NO de Cuba. *Geogaceta*, 32: 287-290.

Pszczółkowski, A. 1978. Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in western Cuba: their lithostratigraphy, facies development, and paleogeography. *Acta Geologica Polonica*, 28: 1-96.

Pszczółkowski, A. 1986. Megacapas del Maestrichtiano en Cuba occidental y central. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences (Earth Sciences)*, 34 (1): 81-94.

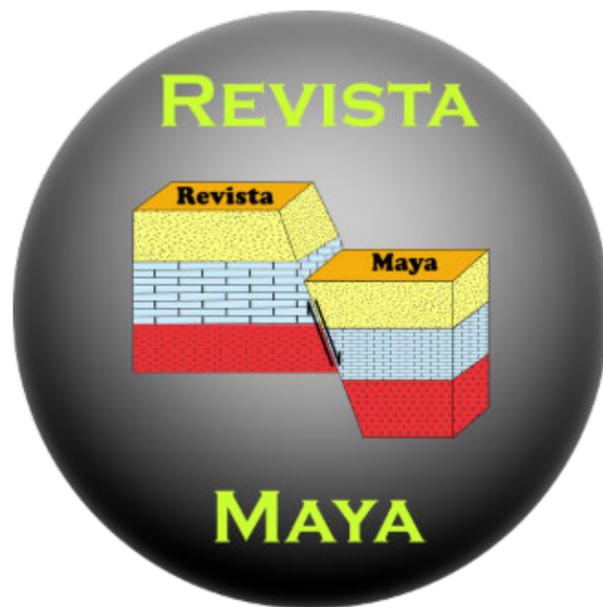
Pszczółkowski, A. 1994. Lithostratigraphy of Mesozoic and Palaeogene rocks of Sierra del Rosario, Western Cuba. *Studia Geologica Polonica*, 105: 39-66.

Pszczółkowski, A. 1999. The exposed passive margin of North America in western Cuba. In: *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World, 4*, edited by P. Mann (Series Editor: K.J. Hsü), pp. 93-121.

Pszczółkowski, A., García, D. y Pérez, E. 1992. Late Maastrichtian foraminifers, glass fragments and evidence for violent erosion near the K/T boundary in Western Cuba. *13th Caribbean Geological Conference (13a Conferencia Geológica del Caribe), Pinar del Río, Cuba, Agosto 10-14, 1992. Programa y resúmenes*, p. 127.

Tada, R., Iturralde-Vinent, M.A., Matsui, T., Tajika, E., Oji, T., Goto, K., Nakano, Y., Takayama, H., Yamamoto, S., Kiyokawa, S., Toyoda, K., García-Delgado, D., Díaz-Otero, C., and Rojas-Consuegra, R. 2003. K/T boundary deposits in the Paleo-western Caribbean basin, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79*, p. 582-604.

Takayama, H., Tada, R., Matsui, T., Iturralde-Vinent, M.A., Oji, T., Tajika, E., Kiyokawa, S., García, D., Okada, H., Hasegawa, T. y Toyoda, K. 2000. Origin of the Peñalver Formation in northwestern Cuba and its relations to K/T boundary impact event. *Sedimentary Geology*, 135: 295-320.



MISCELÁNEOS

Dios del viento Posiblemente Kukulcán



La asociación que alguien ha sugerido del famoso héroe de la cultura maya-mexicana. Kukulcán, con el dios maya del viento, no se ha establecido con certeza. El dios del viento aparece raras veces en los códices, habiendo por todo menos de una docena de representaciones del mismo y ni una sola en el Códice Tro-Cortesiano, un manuscrito de los últimos tiempos de la Epoca Postclásica. En vista de la posición predominante que tuvo Kukulcán durante la Epoca Postclásica, parece extraño que si aquél era el dios del viento, no se hayan encontrado más representaciones suyas. La asociación del dios del viento con Chaac, el dios de la lluvia, es muy estrecha. En el Códice Peresiano vemos a Chaac haciendo una ofrenda a la cabeza del dios del viento en conexión con una ceremonia de final de katún. Y es que la identificación del dios del viento con Kukulcán se funda en la asociación parecida que hay en la mitología azteca de Quetzalcóatl con Ehécatl, el dios del viento, que barre el camino del dios de la lluvia. Como los dioses mayas del viento y de la lluvia están asimismo íntimamente asociados, y puesto que tanto el dios maya del viento como Quetzalcóatl-Ehécatl, el dios azteca del viento, tienen grandes trompas foliadas, puede haber alguna relación entre el dios maya del viento y Kukulcán. Esta conexión se ha sugerido tan sólo y el propio Chaac, principal dios maya de la lluvia, ha sido identificado como Kukulcán por varias autoridades. Algunos creen que la conexión, entre el dios del viento y el dios de la lluvia es tan estrecha, que indica que el primero no es más que una manifestación especial del segundo y que, no debiera considerarse como una deidad separada. El jeroglífico de su nombre se encuentra frecuentemente en relación con el de Chaac. Era patrono del día Muluc y se le tenía por una deidad benévola.

La casa de los desiertos

<https://www.britannica.com/science/desert>

<https://geology.com/records/largest-desert.shtml>

<https://geojango.com/blogs/explore-your-world/largest-deserts-in-the-world>

<https://www.oldest.org/nature/deserts/>

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/deserts>

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/desert/>

<https://www.nationalgeographic.org/video/deserts-101/>



Nueva REVISTA

<https://sites.google.com/view/encomunicacionct/>

¡NUEVA!



ENSEÑANZA
COMUNICACIÓN
DE LAS GEOCIENCIAS

REVISTA ENSEÑANZA Y COMUNICACIÓN DE LAS GEOCIENCIAS

Revista electrónica de acceso abierto, semestral, editada por el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, destinada a docentes y público en general.

La Sección Enseñanza es para interesados en enseñar alguna materia relacionada con las ciencias de la Tierra, desde el nivel preescolar hasta posgrado.

La Sección Comunicación será para personas interesadas en conocer y entender mejor fenómenos naturales.

INVITACIÓN A CONTRIBUCIONES

Se convoca a autores a enviar manuscritos para su posible publicación en la revista.

Los tipos de trabajos que se recibirán son aquellos relacionados con:

- Experiencias en el aula
- Notas para explicar eventos recientes
- Geociencia informática y recreativa
- Videoexcursiones
- Manuales
- Biodiversidad y sustentabilidad

Deberán enviarse con un texto explicativo y ligas a los recursos didácticos o de comunicación.

Dudas y aclaraciones:

encomunicacionct@geociencias.unam.mx

alaniz@geociencias.unam.mx

Directoras en jefe:

Sección Enseñanza
Dra. Susana Alicia Alaniz Álvarez
alaniz@geociencias.unam.mx
Centro de Geociencias, campus Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México

Sección Comunicación
M. en C. Raiza Pilatowsky Gruner
Raiza.pila@gmail.com
Directora Estudios Planeteando

Tesis selectas presentadas en el Instituto Politécnico Nacional en 2021

Compilación realizada por Miguel Vázquez Diego Gabriel, Colaborador de la Revista

Análisis y evaluación petrosísmica de los horizontes Kobe y Paris del campo Cloudspin 3D en profundidad
Girón Perea, Rosario; Hernández Guillén, Carmen; Michel Cabrera, Mari Bárbara; Trujillo Estrada, Sirina

Determinación de mecanismos focales en el valle de México durante el período 2014-2016
Passaron Arroyo, Francisco Javier

Caracterización petro-sísmica 3-D de la formación KI del campo LZAMRA3916
López Centeno, Alfredo

Características espectrales de las réplicas del sismo del 19 de septiembre de 2017, Mw 7.1
Calixco Zavala, Mildred Osiris

Estudio de conducción de fluidos en medios porosos y fracturados aplicando DRP
De la Rosa Maldonado, Jonathan

Estimación de cubos petrofísicos del campo Poseidón 3D en apoyo a la caracterización petrosísmica
Anota Landero, Mario Eugenio; Carrillo Vázquez, Eleaquin; Hernández Vite, Sharon Harumi; Lara García, Néstor Cuauhtémoc; Ventura Rangel, Alan Brandon

Caracterización petrofísica de un yacimiento
Mora Bolaños, Gladys; Alvarado García, Juan Ignacio

Análisis de facies petrofísicas del campo Cloudspin 3D en profundidad
Hernandez Santana, Abner Joel; Gallegos Valdiviezo, Claudet Irais; Hernandez Hernandez, Juventino; Trejo Cervantes, Miriam; Alcantara Rios, Zamara Nazani

Métodos de escalamiento aplicados a los registros geofísicos de pozo
López Aburto, Rodrigo

Caracterización petrosísmica de las formaciones Houston, Kobe y París en el campo Cloudspin 3-D en profundidad
Morales Figueroa, Jaqueline Madeleine; Jiménez Aceves, Jazmín; Cuervo Borbolla, Janine Linett; Castañeda Cruz, José Eduardo; Castro de la Cruz, Juan Carlos

Modelo estructural de la parte central del campo Poseidón 3D como apoyo a la caracterización petrosísmica perteneciente a la cuenca de Browse
Alcázar Trinidad, Salvador; Flores Rodríguez, Daniel; Mayorga Salaya, Carlos Arturo; Nava González, Erick Martín; Ortiz Martínez, María Esther

Evaluación con registros geofísicos del campo Poseidón 3D marino, en apoyo a la caracterización petrosísmica
Domínguez González, Carlocesar; Durán Flores, Jorge Luis; Gómez Carranza, Juan Pablo; Valdez Rivera, Oscar Rabindranath; Matozo Silis, Iñaki

Estimación de la profundidad de la isoterma de Curie en el Estado de Guerrero a partir de análisis espectral de datos aeromagnéticos
Cristóbal Hernández, Giezi

Evaluación petrosísmica de los pozos Agate-H6, Albite-F1, Barite-C1 y Citrine-1 del campo Cloudspin 3D en profundidad
Astudillo Jeronimo, Esthefany; Espinosa Pacheco, Sabrina Esteli; Cruz Urbina, Ana Paola; Santacruz Fernández, Luis Daniel

Estados coherentes en la representación de Glauber
López Ramos, Francisco Javier

Caverna del arte

"El Cartógrafo"

Minicuentos ilustrados de
Wilmer Pérez Gil



@wilmerarte

Wilmer Pérez Gil

2022

Janus Cuadrumanoff era considerado el mejor cartógrafo del país. Y no porque ostentara todos esos años como curtido fabricante de mapas, sino porque poseía un inusual don para hacerlo, como si hubiera venido al mundo para hacer éste y no otro trabajo.

Durante sus muchos años de vida, viajó por la tierra, confeccionando las más extravagantes y raras hojas cartográficas, sobre todo de aquellos territorios y parajes "inexistentes", que lejos de estarlo, jamás habían sido descritos en archivo o registro alguno, o al menos que se supiera.

Poseía vastos conocimientos de geodesia, topografía y agrimensura, entre otros saberes, adquiridos a través de la práctica y el tiempo. Sus servicios eran requeridos por personas de enormes fortunas, con muy claras ambiciones, pero sin el más mínimo interés de enrolarse en arriesgadas y desgastantes aventuras por insólitas y lejanas comarcas. Por eso, contrataban al hábil geodesta, quien además era conocido por su fama de andarín e infatigable caminante.

Janus sentía un cariño especial por sus cachivaches, "sus tesoros" como acostumbra a llamarlos, aquellos que siempre le acompañaban a donde quiera que este fuera. Su gran alforja albergaba todo tipo de utensilios y herramientas, desde instrumentos de medición: la brújula y el compás, su cuaderno de campo, repleto de datos y números. También el portamapas donde alojaba varios pergaminos en blanco, hasta cacharros, incluidos un desvencijado sartén, una herrumbrosa tetera, un oxidado molinillo, la aceitera y su vieja pipa, entre otros avíos. Llevaba siempre su manta de lona añil para las frías noches y su juego de pedernales para encender el fuego. Era costumbre verle ataviado de su saco de lana verde limón, pantalón carmesí y un báculo de cedro sin tallar.

En su opinión, para realizar un buen mapa, lo primero y más inmediato era establecer sus puntos de referencia, aquellos donde fuera más fácil describir la naturaleza del terreno. De manera que éstos debían ser singulares, cuidadosamente seleccionados y no tomados de forma inmediata o precipitada, pues el trabajo podía arruinarse. Y eso era sumamente importante. No se trataba de una trivial cuestión de honorarios, sino de conservar el prestigio, uno ganado con oficio y muchos años en la profesión.

Según se dice, solo tuvo unos pocos aprendices y no porque el oficio declinara, sino porque la mayoría de los iniciados perdía interés o sencillamente no tenían la "madera" suficiente para el trabajo. En ello, Cuadrumanoff era bien objetivo y extremadamente claro: jamás correría el riesgo de perder el tiempo, su tiempo, con vagos o haraganes, de escaso o ningún talento, y mucho menos respeto por el oficio.

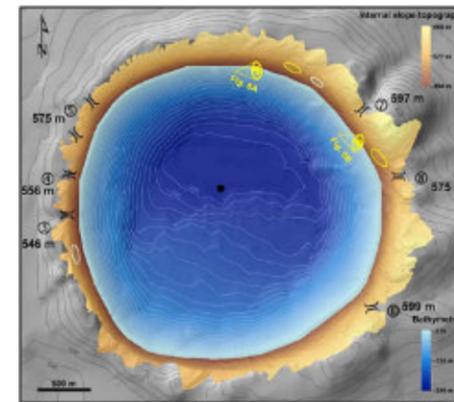
Al cumplir sus 191 otoños, y con más surcos en su rostro que un campo recién labrado, emprendió nuevamente viaje. Nadie sabía con certeza su paradero, lo cierto es que esa fue la última vez que se le vió. Se cuentan muchas historias de a dónde pudo haber ido, en lo que la mayoría coincide es que el viejo hacedor de mapas decidió partir a un lugar del que no se regresa. Aunque...todo es posible en este mundo, quizás solo esté de paso por allá, recopilando información para un Nuevo trabajo

Pingualuit Crater Lake, Québec.

<https://craterexplorer.ca/pingualuit-impact-crater/>



Pingualuit Crater Lake, Québec. Pingualuit ᐱᖃᓴᓴᓴᓴᓴ is an Inuit word meaning pimple. Ironically, Pingualuit Crater Lake is said to have the purest freshwater on earth. The crater surrounding the lake was formed by a meteorite over 1.4 million years ago in the Pleistocene Epoch. The meteorite evaporated on impact in an explosion which melted thousands of tons of stone and wiped away all life for hundreds of kilometres around the crater. Local Inuit people consider this unusually calm place to be a site of extreme power, where one comes to revitalize oneself. In order to protect this unique impact crater, Pingualuit National Park was established in 2004. Photo Credit: NASA.



Digital Elevation Model (DEM) of the **Pingualuit Crater** using high-resolution topography of the internal slopes and mid-resolution bathymetry. Elevation of the crater rim channels are indicated in meters (asl) (black brackets) and paleoshorelines at 545 m asl are highlighted with white and yellow ellipses. The black dot indicates the position of the coring site in the deep basin of the lake. (Desiagne et al 2015).

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/8472/pingualuit-crater-canada>

<https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/crater-cosmic-proportions-180954664/>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas

Glosario de términos geológicos

Compilado por:

E.P Saul Humberto Ricardez Medina

Esta compilación selecta de términos geológicos que utilizan regularmente los profesionistas de las Ciencias de la Tierra tiene la intención de apoyar a aquellos estudiantes que requieran de una referencia sobre el tema.

Recurso: Volumen total de hidrocarburos existente en las rocas del subsuelo. También conocido como volumen original in situ.

Recurso descubierto: Volumen de hidrocarburos que se estiman que se pueden producir de las acumulaciones descubiertas.

Recurso no descubierto: Volumen de hidrocarburos del que no se tiene evidencia, pero cuya existencia se infiere en cuencas geológicas a través de factores favorables resultantes de la interpretación geológica, geofísica y geoquímica. Si comercialmente se considera recuperable se le llama recurso prospectivo

Recurso prospectivo: son aquellas cantidades de petróleo que se estiman, a una fecha dada, sean potencialmente recuperables de acumulaciones no descubiertas a través de la aplicación de futuros proyectos de desarrollo. Los recursos prospectivos tienen una probabilidad de descubrimiento geológico asociada, además de una probabilidad de desarrollo

Reservas: son aquellas cantidades de petróleo que se anticipan a ser comercialmente recuperables a través de la aplicación de proyectos de desarrollo a las acumulaciones conocidas, a partir de una fecha dada, bajo condiciones definidas. Además, las reservas deben satisfacer cuatro criterios: deben estar descubiertas, ser recuperables, ser comerciables y ser remanentes (a la fecha de la evaluación), basadas en el/los proyecto(s) de desarrollo aplicado(s).

Reservas originales: Son las reservas de hidrocarburos al inicio de la extracción.

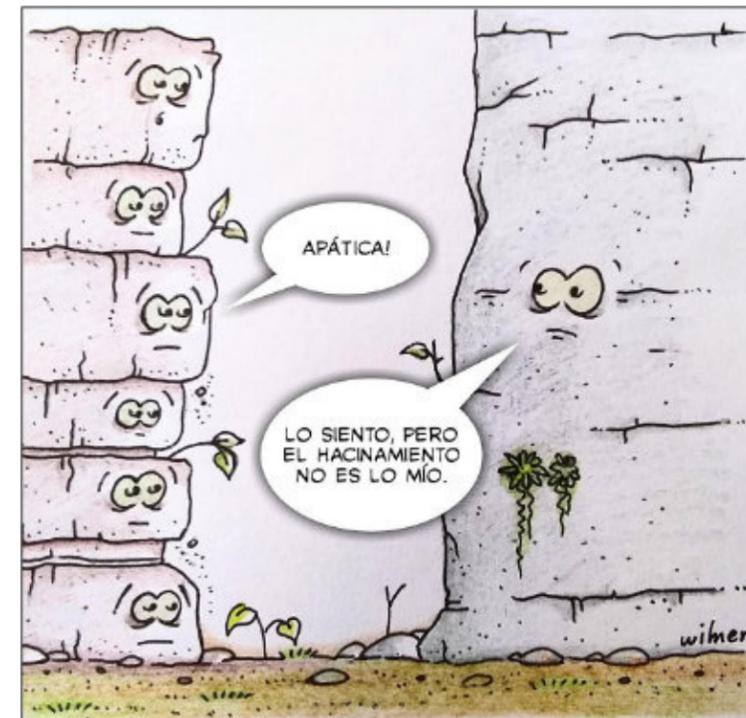
Reservas posibles (3P): son aquellas reservas adicionales que, a partir de un análisis de datos de geociencias y de ingeniería, se estiman son menos probables a ser recuperadas comparadas a las reservas probables. Las cantidades totales finalmente recuperadas del proyecto tienen una baja probabilidad de superar la suma de reservas probadas más probables (3P), lo que es equivalente al escenario de estimación alta. En este contexto, cuando se utilizan los métodos probabilistas, debería haber por lo menos, una probabilidad del 10% a que las cantidades reales recuperadas igualarán o superarán la estimación 3P

Reservas probables (2P): son aquellas reservas adicionales que, a partir de un análisis de datos de geociencias y de ingeniería, se estima que es menos probable ser, comparadas a reservas probadas, pero más ciertas a ser recuperadas comparadas a las reservas posibles. Es igualmente probable que las cantidades remanentes reales recuperadas sean mayores o menores a la suma de las reservas estimadas probadas más probables (2P). En este contexto, cuando se utilizan métodos probabilistas, debería haber por lo menos una probabilidad del 50% de que las cantidades reales recuperadas igualarán o excederán la estimación de 2P.

Reservas probadas (1P): son aquellas cantidades de petróleo que, a partir del análisis de datos de geociencias y de ingeniería, se estiman con certeza razonable a ser recuperables comercialmente a partir de una fecha dada en adelante, de yacimientos conocidos y bajo condiciones económicas, métodos de operación, y reglamentación gubernamental definidas. Si se utilizan métodos deterministas, la intención de certidumbre razonable expresa un alto grado de confianza a que las cantidades serán recuperadas. Si se utilizan métodos probabilistas, debería haber por lo menos una probabilidad de 90% que las cantidades realmente recuperadas igualarán o excederán la estimación.

Volumen remanente: Diferencia entre el volumen original y la producción acumulada, ambos volúmenes a condiciones estándar el cual incluye las reservas a una determinada fecha.

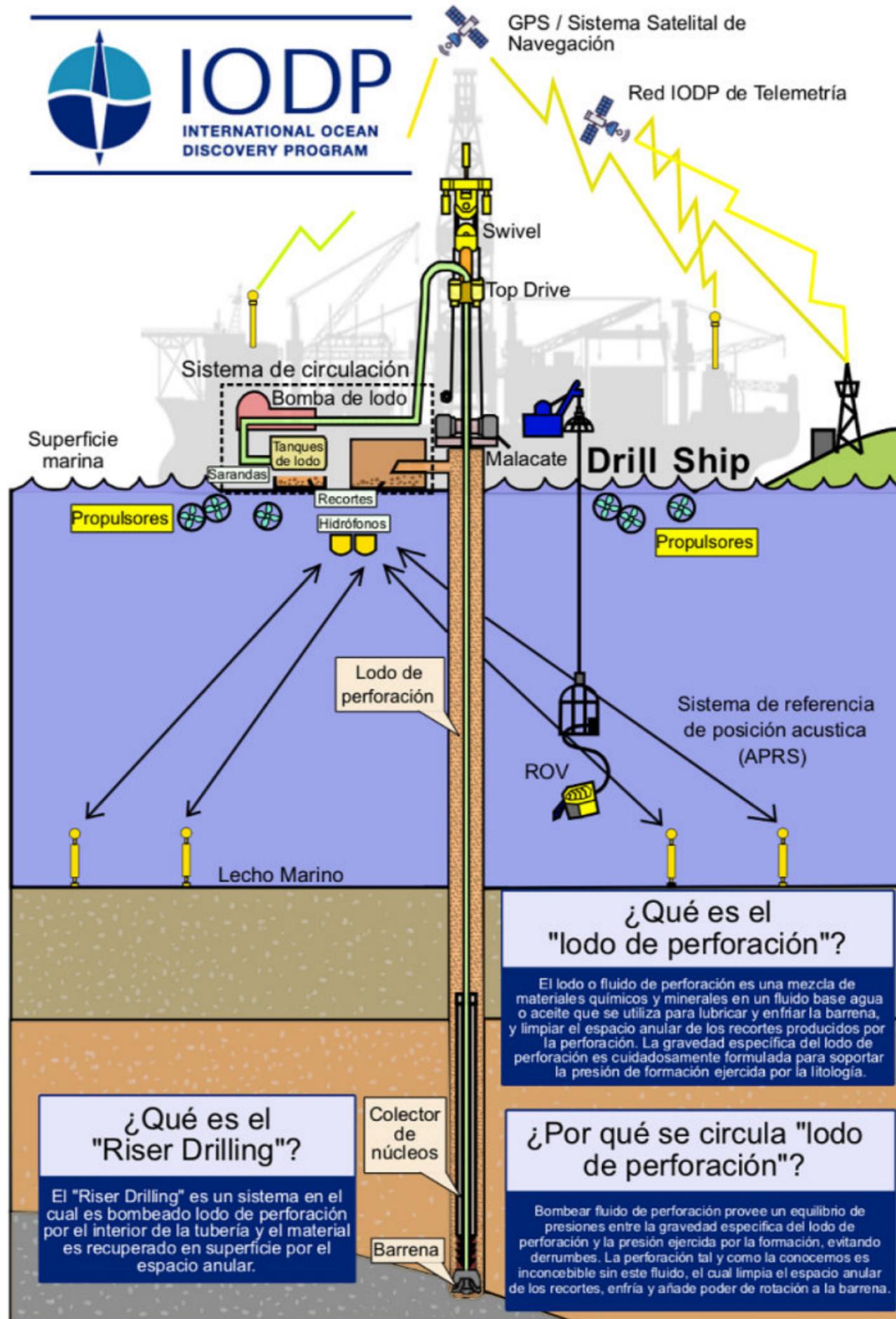
Tomado de: Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). (2018). RESERVAS DE HIDROCARBUROS EN MEXICO CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y ANALISIS 2018. Mayo 2, 2022, de Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435679/20190207_CNH-Reservas-2018_vf_V7.pdf



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.

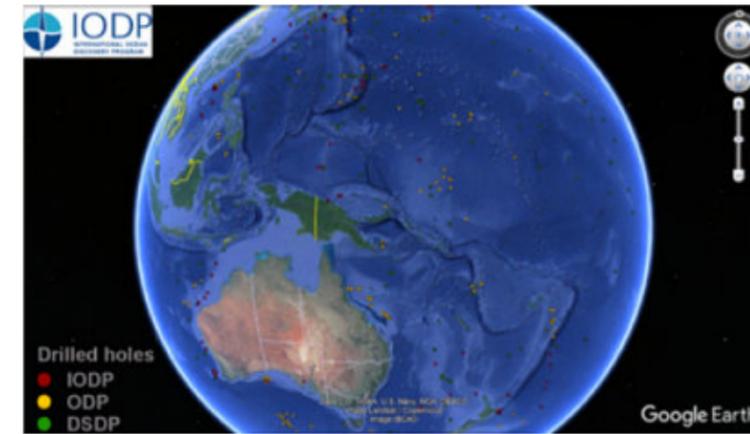
Camino hacia el Presente, el único tiempo en donde existimos. Fotografía abstracta de Claudio Bartolini





El "Programa Internacional de Descubrimiento de los Océanos" (IODP, por sus siglas en inglés), con el lema "explorando la Tierra debajo del mar", es uno de los proyectos geocientíficos más importantes que se hayan realizado para conocer el registro geológico marino, esto incluye, su estructura, composición, así como fenómenos que ocurren en el piso marino y debajo de éste. Anteriormente, a este programa de perforaciones marinas se le nombraba ODP, DSDP y IODP (*Ocean Drilling Program; Deep Sea Drilling Project; International Ocean Drilling Project*). Hoy en día, este programa opera bajo la cooperación internacional, logrando el estudio y análisis de kilómetros de núcleos recuperados y albergados en tres repositorios en el mundo: EE.UU., Alemania y Japón.

Entre ODP, DSDP y IODPs se han recolectado más de 436 km de núcleos, en más de 390 campañas de muestreo alrededor de todo el mundo.



Visualización de todos los pozos en un archivo KMZ de IODP, ODP y DSDP (Extraído de: <https://www.iodp.org/>)

Fotografía (derecha) que muestra la extracción de los núcleos de perforación en el buque. Extraído de www.iodp.org/



Los objetivos de los proyectos de ODP, DSDP, y IODPs versan en estudios con objetivos de entender: el cambio climático global, las zonas de subducción con alta sismicidad, vulcanismo submarino, etc.

Breve historia

Conocer el registro geológico del piso marino ha sido una gran hazaña debido a los grandes retos técnicos para coleccionar muestras *in situ*. Podría decirse que, a partir de los 1940s se desarrolló la perforación por pistones, recolectando las primeras muestras de sedimentos del piso marino.

Posteriormente, en 1961, una vez desarrollado el sistema de posicionamiento de los barcos (con un sistema de propulsores), se llevó a cabo el Proyecto Mohole, con el fin de alcanzar la discontinuidad de Mohorovičić. En 1966 se inició el primer conjunto de investigaciones marinas con el buque de perforación *Glomar Challenger*, bajo el **Deep Sea Drilling Project** (DSDP), hasta 1983. De 1983 a 2003 se llevó a cabo el **Ocean Drilling Program** (ODP), usando el buque *JOIDES Resolution*. De 2003 al 2013 se actualizó el programa en el **International Ocean Drilling Program** (IODP) utilizando múltiples plataformas de perforación y la participación de 26 naciones. Actualmente (2013 al presente), el programa **International Ocean Discovery Program** (IODP) se encuentra trabajando con el apoyo de tres buques de perforación alrededor de todo el mundo.

¿Cuál es el rol de los buques de perforación (Drill Ship)?

Estas súper máquinas son capaces de transportar los equipos necesarios con los cuales se extraen las muestras del subsuelo marino (ver diagrama de la izquierda). Abordo, cuenta con un capitán y tripulación que mantiene el buque a flote, un equipo multidisciplinario de geocientíficos, ingenieros de perforación y profesionales de todo tipo, según la misión en cuestión. Es gracias a este ejercicio sinérgico y el desarrollo tecnológico, que los seres humanos hemos podido explorar las rocas debajo del mar alrededor de todo el mundo.



Fotografías de núcleos (arriba) y proceso de corte de núcleos (abajo) de las distintas campañas del IODP. (Extraído de: <https://www.iodp.org/>)

¿Qué es el "lodo de perforación"?

El lodo o fluido de perforación es una mezcla de materiales químicos y minerales en un fluido base agua o aceite que se utiliza para lubricar y enfriar la barrena, y limpiar el espacio anular de los recortes producidos por la perforación. La gravedad específica del lodo de perforación es cuidadosamente formulada para soportar la presión de formación ejercida por la litología.

¿Por qué se circula "lodo de perforación"?

Bombear fluido de perforación provee un equilibrio de presiones entre la gravedad específica del lodo de perforación y la presión ejercida por la formación, evitando derrumbes. La perforación tal y como la conocemos es inconcebible sin este fluido, el cual limpia el espacio anular de los recortes, enfría y añade poder de rotación a la barrena.

¿Qué es el "Riser Drilling"?

El "Riser Drilling" es un sistema en el cual es bombeado lodo de perforación por el interior de la tubería y el material es recuperado en superficie por el espacio anular.

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.

**Asociación de Geólogos y Geofísicos
Españoles del Petróleo**

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

<http://www.scg.cu/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



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

**Universidad Tecnológica
del Cibao Oriental,
República Dominicana**

<https://uteco.edu.do/>



Piezas de 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