

**MAYO  
2022**



# **MAYYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



MAYO  
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 cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor 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.*

**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

**Portada de la revista:** Travertine terraces at Mammoth Hot Springs in Yellowstone National Park. Fotografía de Joshua Rosenfeld.

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



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

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

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



**Claudio Bartolini** (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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 extranjero en la Ingeniería Geológica, la Reducción de los Riesgos Geológicos y el enfrentamiento al Cambio Climático.

[rafaelguardado2008@gmail.com](mailto: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](http://www.teyrageo.com)), donde está realizando un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes tomados con su drone, integrados con otros datos geoespaciales.

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



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

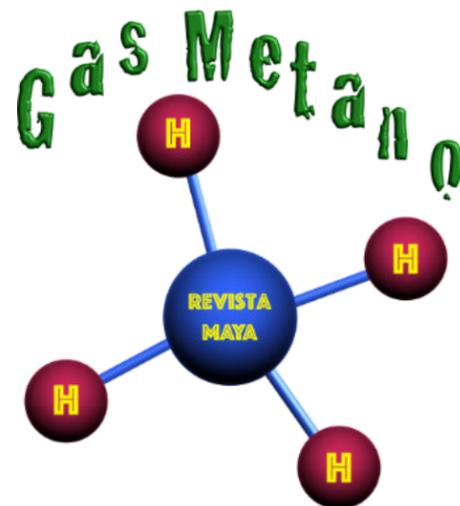


**Uriel Franco Jaramillo**, es estudiante de noveno semestre en la carrera de Ingeniería Petrolera en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, sus principales áreas de interés son la simulación matemática de yacimientos y la conducción, el manejo y el transporte de

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

[urielfranco.unam@gmail.com](mailto: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/>*



## Estimados colegas,

Es un gran placer informarles que ya tenemos una página web para nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras comunidades de geociencias.

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

© 2022 Revista Maya de Geociencias | Powered by Superbs Personal Blog theme





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

### Estimados Colegas

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

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

#### Instrucciones básicas para los autores

Apreciables autores, al someter su material para la publicación en la Revista Maya de Geociencias, por favor mantener los siguientes lineamientos editoriales de su manuscrito al momento de enviarlo al equipo editorial y colaboradores:

Semblanzas: 3 páginas máximo.

Notas sobre pioneros de las geociencias: 4 páginas máximo.

Los "temas de interés para la comunidad": 4 páginas máximo.

Notas geológicas: 10 páginas máximo.



Prince Christian Fjord in Greenland. It shows a recumbent fold in the metamorphic rocks with some puzzling faulting. Photo by Joshua Rosenfeld.

### Esteemed colleagues

Now that we have your attention, we take this opportunity to cordially invite your participation in the Revista Maya de Geociencias in the form of short manuscripts touching upon diverse relevant themes of interest. All work is welcome, as the primary function of the magazine is to broadcast geoscientific ideas.

If the manuscripts are relatively long, they will be published in our magazine's Special Editions since the Special Editions do not have size limitations, as do our monthly issues (below).

#### Basic Instructions for Authors

Authors submitting material to be published in the Revista Maya de Geociencias are asked to adhere to the following editorial guidelines when sending manuscripts to the editing team and/or its collaborators:

(biographical sketches): a maximum of 3 pages

Notes on pioneers in the geosciences: a maximum of 4 pages

Themes "of interest to the community": a maximum of 4 pages

Geological notes: a maximum of 10 pages

# CONTENIDO

MAYO  
2022

Semblanzas.....	<a href="#">11</a>
Pioneros de las Geociencias.....	<a href="#">15</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">20</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">28</a>
Temas de interés.....	<a href="#">31</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">37</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">42</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">71</a>
La Casa de las Penínsulas.....	<a href="#">72</a>
Earth Day.....	<a href="#">73</a>
Tesis selectas presentadas en la UNAM en 2020.....	<a href="#">74</a>
Geo-Latinas.....	<a href="#">75</a>
Caverna del arte.....	<a href="#">76</a>
Glosario de términos geológicos.....	<a href="#">78</a>
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	<a href="#">79</a>
Open source scientific software.....	<a href="#">80</a>
Salar de Uyuni, Bolivia.....	<a href="#">81</a>
Ocean Drilling Program.....	<a href="#">82</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">83</a>

# SEMBLANZAS

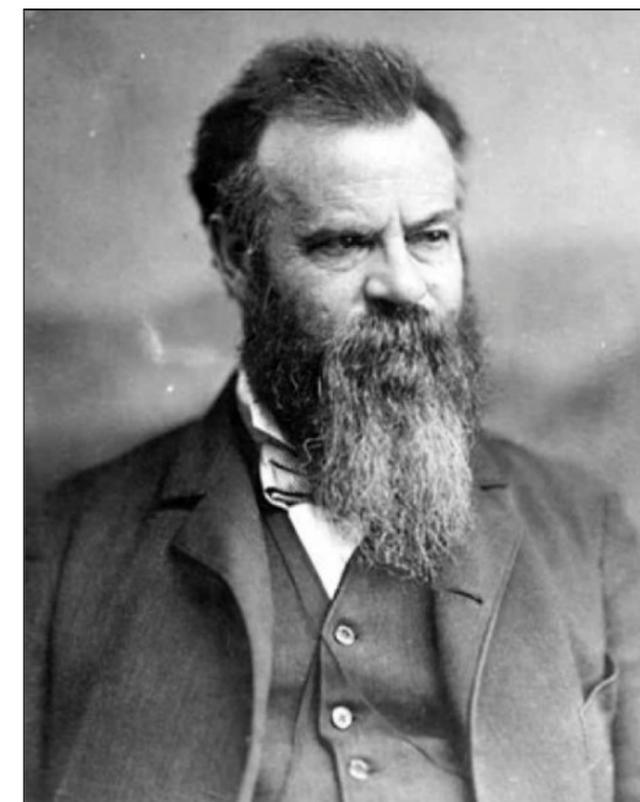
## John Wesley Powell: (1834 - 1902)

It was 1869. Ten men in four boats were about to embark on a journey that would cover almost 1,000 miles through uncharted canyons and change the west forever. Three months later only five of the original company plus their one-armed Civil War hero leader would emerge from the depths of the Grand Canyon at the mouth of the Virgin River. Thirty five-year-old Major John Wesley Powell was that expedition's leader. From early childhood Powell manifested deep interest in all natural phenomena. Original and self-reliant to a remarkable degree, he early undertook collecting and exploring trips quite unusual for a youth of his age, and studied botany, zoology, and geology wholly without the aid of a teacher.

He traversed various portions of Wisconsin, Illinois, Iowa, and the Iron Mountain regions of Missouri, making collections of shells, minerals, and general natural history objects, which led to his election in 1859 to the secretaryship of the Illinois Natural history Society. It is said that, in 1856 when but 22 years old, he descended the Mississippi alone in a row boat from the Falls of St. Anthony to its mouth, making collections on the way. Again, in 1857, he rowed the whole length of the Ohio river from Pittsburg to its mouth, and in 1858 made a like trip down the Illinois river to its mouth and thence up the Des Moines.

With the outbreak of the Civil War in 1860, Powell enlisted in the 20th Illinois volunteers, and was mustered in as second lieutenant. He was for a time stationed at Cape Girardeau and as captain of battery F of the 2nd Illinois artillery took part in the battle of Shiloh, losing his right arm at Pittsburg Landing. He returned to the service as soon as his wound healed, and took part in the battles of Champion Hill and Black River Bridge. His wife Emma Dean received permission from General Grant to accompany her husband on the battlefield to minister to him.

At the close of operations about Vicksburg he was obliged to submit to a second operation on his arm, but returned to his post in season to take part in the Meridan raid. Later he was made major and chief of artillery, first, of the 17th



army corps and subsequently, of the department of Tennessee, taking part in the operations before Atlanta and in the battle of Franklin. He was mustered out of the service at the end of the Civil War as a "major" in 1865 and accepted the position of professor of geology and curator of the museum of the Illinois Wesleyan University at Bloomington, from which institution, although not a graduate, he had previously received the degrees of A. B. and A. M. In 1886, Powell also received the degree of Ph.D. from Heidelberg, Germany, and that of LL.D. from Harvard. He also became connected with the Illinois Normal University and was widely known throughout the state by his lectures and addresses on scientific subjects.

It was on field trips out west that Powell began to formulate his idea of exploring the Grand Canyon of the

Colorado itself. On May 24, 1869, Powell and nine men he recruited for a truly monumental journey pushed from shore their boats and headed down the Green River from Green River, Wyoming, amidst shouts and cheers from onlookers who must have thought they would never see these 10 men again. They took provisions for ten months.

About a month later one of the men, an Englishman named Frank Goodman, approached the Major saying "I've had more excitement that a man deserves in a lifetime. I'm leaving." At that point in the trip they had already lost one boat to the rapids and most of their supplies. It must have been rather exciting as the men knew not what to expect from one day to the next. Goodman was able to walk to a nearby settlement though history has lost track of what happened to him.

The 1869 expedition continued down the Green to the confluence of the Grand River flowing west into Utah. The two mighty rivers then merged into the Colorado, Spanish for red river as when it rained the side tributaries spilled their muddy red sediment into the clear green waters of the main channel causing it to run red and thick with silt. River runners described the Colorado in the days before Glen Canyon Dam as "too thick to drink and too thin to plow."

During the next two months on the river, the men encountered many more rapids that could not be run safely in Powell's estimation. He was ever cautious, fearful they would lose the rest of the supplies and perhaps even their lives. So they lined the boats down the side of the rapids, or portaged boats and supplies through the rocks along the shoreline. However, there were times when they had to run the swollen river through rapids that surely made them pray.

At a place now called Separation Canyon, O.G. Howland, his brother Senaca, and Bill Dunn came to the Major and spoke of "how we surely will all die if we continue on this journey." They could only see more danger ahead. Try as they might, they could not convince Powell to abandon the river. The next morning, the three men bid farewell to Powell and the remaining five adventurers. Powell left his boat the Emma Dean at the head of Separation Rapid in case they changed their minds. With the other five men Powell ran what would turn out to be the first of two remaining major rapids they would encounter. The Howlands and Dunn climbed out of the canyon walking towards civilization only to meet their death at the hands of Shivwits Indians who mistook them for miners that had killed a Hualapai woman on the south side of the river. At least that was the story Powell heard the next year when he visited the Shivwits area with Mormon Scout Jacob Hamlin.

It was ironic they parted company then as two days later Powell and his men reached the mouth of the Virgin River (now under Lake Mead) and were met by settlers fishing from the river bank. The adventurers had not been heard from in three months and were presumed dead.

Powell had completed what he sought to do ... explore and confirm his theory on the Grand Canyon of the Colorado, a region up to that time almost wholly unknown and concerning which there were many vague and often wild rumors. His theory was the river preceded the canyons and then cut them as the Plateau rose. Returning a national hero to Illinois, Powell promptly hit the lecture circuit then raised funds for a second expedition in 1871 which would produce what the first did not -- a map and scientific publications.

Powell's active work as a geologist eventually gave way to a new career in government. In March 1881, he assumed the directorship of the U.S. Geological Survey when the first director Clarence King resigned. He served for 13 years. Until his own voluntary retirement from the Survey in 1894, Powell also was the head of the Bureau of Ethnology which he continued to run until his death in 1902 despite failing health mainly due to his amputated arm which was a great source of periodic pain. Though between 1894 and 1902 Powell spent increasingly less time running the Bureau and more time on his philosophical/ethnographic writing.

Source: <https://www.usgs.gov/human-capital/john-wesley-powell>

<https://www.wyohistory.org/encyclopedia/john-wesley-powell-explorer-thinker-scientist-and-bureaucrat>

El **Dr. Pedro Joaquín Bermúdez** nació en Las Villas, el 24 de febrero de 1905. Destacada personalidad de la Paleontología y la Geología de Cuba en el siglo XX. Se especializó en el estudio de los foraminíferos y contribuyó al desarrollo de la Estratigrafía en Cuba.



Apenas a un año de haberse graduado de Doctor en Farmacia, en la Universidad de la Habana (1935), la "John Simon Guggenheim Memorial Foundation" de New York le otorgó una beca por dos años (1936-1937). Durante esta etapa se dedicó intensamente al estudio de los foraminíferos. Desde muy temprano, el joven Bermúdez sintió un irresistible interés por el estudio de la naturaleza, iniciándose al lado del Dr. Salvador de la Torre y Huerta, con quien cursó la asignatura de Historia Natural en el Instituto de Segunda Enseñanza de Santa Clara. El Dr. de la Torre recomendó su discípulo a su hermano, el eminente sabio cubano Dr. Carlos de la Torre, quien supo valorar las cualidades del joven naturalista y lo nombró su ayudante honorario en la Universidad de la Habana. En 1948 finalizó su carrera de Doctor en Ciencias Naturales en la citada Universidad, donde años más tarde ocupó la plaza de profesor en la cátedra de Zoología.

Las relaciones científicas con Don Carlos de La Torre le dieron la oportunidad de viajar intensamente por toda la Isla, recolectando moluscos terrestres para su maestro y para una colección privada, llegando a reunir más de 10,000 lotes de especies, todas clasificadas y que donó posteriormente al Museo "Felipe Poey" de la Universidad de La Habana y al Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard. El número de especies nuevas descubiertas en estos viajes fue muy considerable.

La afición de Bermúdez a la Malacología fue tan grande y provechosa que Don Carlos dijo en varias ocasiones de él: "Antes, los americanos enseñaban a Bermúdez, pero ahora Bermúdez los enseña a ellos". Con la llegada de las grandes compañías petroleras para realizar investigaciones sobre la posible existencia de petróleo en el territorio nacional, Bermúdez se asoció con el doctor Robert H. Palmer, a quien acompañó por todo el territorio cubano estudiando la Geología y la Paleontología de Cuba.

El doctor Bermúdez publicó numerosos trabajos científicos sobre Estratigrafía y sobre el estudio sistemático de los foraminíferos, El número de géneros de foraminíferos descubiertos por el doctor Bermúdez, es de más de cincuenta y el número de especies nuevas también es considerable.

En 1935, el Dr. Bermúdez publicó su obra "*Foraminíferos de la costa norte de Cuba*", excelente fuente de información sobre estos organismos, que desde 1839, en que Alcides D'Orbigny publicó su libro sobre los foraminíferos recientes de Cuba, no se había realizado estudio alguno. En 1938, el Dr. Bermúdez participó en una campaña oceanográfica a bordo del barco ATLANTIS, de Woods Hole Oceanographic Institution, enriqueciendo su colección con muestras de los mares profundos que rodean a Cuba, y de foraminíferos recientes. Transferido a Cuba, trabajó durante varios años en la Standard Oil Co. de Cuba y durante este tiempo tuvo la oportunidad de

estudiar extensas colecciones de muestras paleontológicas del país, y de Panamá, Costa Rica y Guatemala, aumentando sus conocimientos estratigráficos de América Central.

En 1949 terminó su obra "*Contribución al estudio del Cenozoico Cubano*", publicada en 1950 donde, por primera vez en Cuba, se hace un estudio de la estratigrafía del terciario principalmente basada en microfósiles. Dos años después, en 1952, publicó sus obra "*Contribución al estudio de los foraminíferos rotaliformes*" y "*Las formaciones geológicas de Cuba*".

Fue organizador del laboratorio geológico de la Comisión del Mapa Geológico Cubano, en 1945, colaborando estrechamente con el ingeniero Jorge Brödermann y miembro de importantes instituciones científicas, tanto en Cuba como en el extranjero. Durante varios años, a partir de 1945, el Dr. Bermúdez prestó sus servicios profesionales en el Ministerio de Minas e Hidrocarburos en Caracas y, al mismo tiempo, fue profesor de Micropaleontología en la Universidad Central de Venezuela en la Escuela de Geología y Minas.

El Dr. Pedro Joaquín Bermúdez fue miembro de numerosas sociedades científicas entre las que pueden citarse: Miembro Honorario del Instituto Cubano del Petróleo; Miembro Vitalicio de la Sociedad Cubana de Historia Natural; miembro de las Sociedades de Geología y Paleontología de Estados Unidos, de la Sociedad Mexicana de Geólogos Petroleros y de la Sociedad Paleontológica de Francia, entre otras.

La magnífica colección de foraminíferos de Bermúdez constituye la más completa de la región Caribe-Antillana y se encuentra en la Universidad Central de Venezuela. Graves quebrantos de salud frenaron su extraordinaria producción científica y minaron seriamente su actividad física e intelectual, pero siempre se sobrepuso y siguió publicando hasta el año mismo de su muerte. Fue un científico de una extraordinaria humildad, completamente entregado a su labor y dispuesto siempre a enseñar y ayudar a sus estudiantes y colegas. Falleció en Caracas, Venezuela, el 3 de septiembre de 1979.

Fuente: Dinorah N. Karell Arrechea Teresita Torres Sierra, 2013, Personalidades de las Geociencias en Cuba.

[http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2020\\_P-J-Bermudez\\_Biografia.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2020_P-J-Bermudez_Biografia.pdf)

**Velia Adame Ortiz. Memorias de una hermana  
(1950-2021)**

Por **María Elena Adame Ortiz**

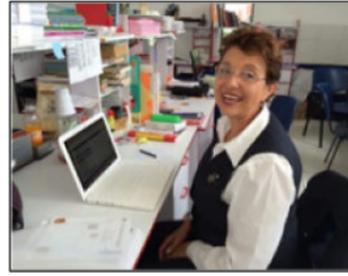
Velia nació el 12 de julio de 1950 en un hospital de Matamoros, estado de Tamaulipas; era muy delgadita y muy inquieta. Como referencia les diré que no había televisión y mi papá tenía una radio de bulbos, la única radio en toda la colonia. Los vecinos iban a escuchar la novela "El hijo desobediente" y la serie "Carlos Lacroix", esta última con Tomás Perrín y Velia Vegar, la que personificaba a la intrépida secretaria Margot, y así fue como la llamaron Velia.

Fuimos ocho hijos de los cuales Velia fue la tercera en nacer. Nuestros padres fueron Lino Adame Flores y Ana María Ortiz Durán; él, nacido en el pueblo de Bravo, Nuevo León, y ella, nacida en el estado de Coahuila. En 1954, se mudaron a Río Bravo, Tamaulipas. Ahí, Velia cursó la primaria de 1957 a 1963 y luego la secundaria de 1963 a 1966 en escuelas federales; fue ahí donde se aficionó a jugar basquetbol. Fueron años muy felices, Velia era una chica muy simpática y todos sus compañeros querían ser sus amigos. Recuerdo que le hicieron una calavera que decía: "Era blanca, alta y delgada la muchacha de quien trato, que como basquetbolista no tenía igual, pero vino la calaca y se la llevó; ahora está jugando con los ángeles en el cielo".

Se terminó la escuela y llegó la interrogativa. Como tardó en decidir a donde iría a estudiar, sus compañeros ya estaban inscritos e instalados en sus escuelas, unos en Tamaulipas y otros en Nuevo León. Velia lloraba y se preocupaba pues el calendario escolar ya corría y ella se estaba quedando sin escuela. El maestro Lupe le dijo que se fuera al estado de México a estudiar Educación Física, pues la entrenaba en basquetbol. El director de la secundaria, Alfredo del Mazo, le dio una carta para que su esposa, en dicho estado, la recibiera en su casa, ya que por razones de salud él tenía que vivir al nivel del mar y por eso vivía en Tamaulipas. Sin embargo, la angustia de perder el año la llevó a elegir para estudiar a la Ciudad de México, porque allá tenían otro calendario escolar y aún podía llegar a tiempo.

Yo, María Elena, hermana mayor de Velia, con cuatro años más de edad, trabajaba como ayudante en un kinder y sufría viendo a Velia impotente por falta de recursos para irse a la Ciudad de México. Según estos recuerdos míos, no dudé en pedir a la directora del colegio, Beatriz Vidaurri, el adelanto de mi pago quincenal, quien me dio 125 pesos los cuales entregué a mi hermana Velia para el pasaje. Así fue como comenzó para ella una aventura inolvidable, con algunos sufrimientos, pero siendo feliz por poder realizar su sueño de estudiar. Nuestra madre, Ana, le escribía por carta diciéndole: "si estás sufriendo, mejor regrésate", y Velia le contestaba: "hay momentos en que sufro, pero soy feliz...".

En la Ciudad de México, Velia se matriculó en la Vocacional Tres del Instituto Politécnico Nacional (IPN) para cursar los estudios equivalentes al bachillerato, de 1966 a 1969. Al terminarlos, ella se inscribió en la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura



(ESIA). El primer año fue difícil, pues por los requerimientos de esa carrera tenía que sacar muchas copias de libros que le prestaban. Al ver que no podía sufragar tales gastos, trató de entrevistarse con el director del IPN para solicitarle una beca, pero éste, debido a su alto cargo, era una persona muy difícil de ver; no obstante, ella no dejaba de insistir. Así, sucedió que al tercer día un señor se le acercó y, probablemente por la elevada estatura de Velia, le preguntó si jugaba basquetbol; ella le contestó que había jugado en su pueblo y que ahora quería ver al director ya que no era de la ciudad y no tenía suficientes recursos económicos. Dicha persona le pidió que lo acompañara pues él conocía al director. Cuando entraron a la oficina, el hombre mencionado le dijo al director: "Esta joven solicita una beca y yo quiero que juegue en mi equipo de basquetbol". Así fue como Velia logró proseguir sus estudios e introducirse al deporte del basquetbol, en el que llegaría a formar parte de la selección nacional femenil.

Estando inscrita en la ESIA, Velia escuchó a unos compañeros decir que la profesión de Geología era sólo para hombres; fue entonces que se cambió de carrera para demostrar que las mujeres también podían cursarla. **Ella, con tres compañeras más, formó la tercera generación de ingenieras geólogas del IPN, de 1969 a 1973.**

En 1971, estando aún cursando la carrera, por el campo de sus estudios y por su nivel de juego en el basquetbol, la Marina de México ofreció a Velia un grado naval para ingresar y formar parte de las pocas mujeres selectas en la Marina en aquellos tiempos, cuando sólo hombres integraban la milicia. Contrajo matrimonio ese mismo año, 1971, **y en 1977 obtuvo el título en Ingeniería Geológica con una tesis sobre foraminíferos, elaborada a bordo de un barco de la Marina.** Al cabo de un tiempo, debido a su acendrada vocación maternal, decidió dejar la Marina para dedicarse al hogar para criar a sus cuatro hijos.

Después de muchos años, Velia volvió a incorporarse al mundo laboral, ahora como profesora de las materias de Biología, Química y Física, inicialmente a nivel de preparatoria en el Instituto Hispano Inglés de la Ciudad de México, de 1994 a 1999, y posteriormente a nivel de secundaria en el Instituto México de la ciudad de Puebla, del 16 de agosto de 1999 al 15 de julio de 2015. Sería en la docencia donde encontraría su verdadera vocación. En el Instituto México fue conocida como Miss Vely y en él fue nombrada Maestra del Año en repetidas ocasiones durante su carrera docente. Finalmente, se retiraría al cumplir los 65 años de edad.

Velia siempre fue una mujer y madre ejemplar, amiga incondicional que vivió con mucho cariño mutuo de parte de todos los que la rodeaban. Siempre la recordaremos con amor. **Descanse en paz Velia Adame Ortiz.**

# PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

## José Royo y Gómez: (1895 - 1961)

### José Royo y Gómez, pionero de la Geología de Colombia y Venezuela

José Antonio Rodríguez Arteaga

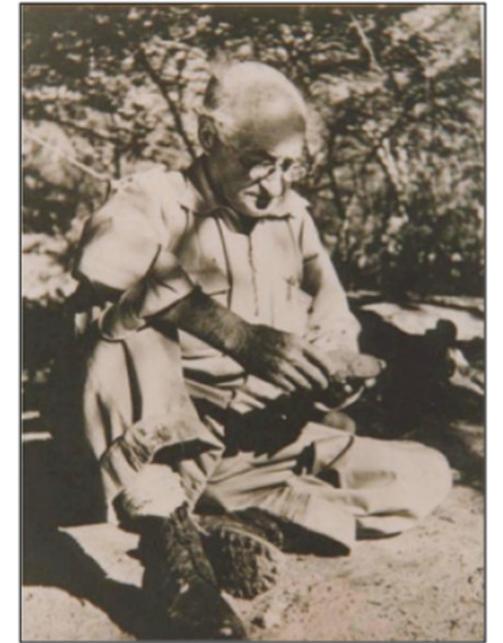
[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto:rodriguez.arteaga@gmail.com)

#### Aniversario y razón de este artículo

Este año de 2022, se conmemora el 61° aniversario del deceso de tan especial investigador y en este trabajo se presenta apenas, un esbozo de su vida y logros como docente e investigador en geología. Su obra escrita es muy basta y no es incluida acá por razones de espacio. El primer centenario de su nacimiento motivó la presentación de por lo menos una decena de conferencias realizadas por particulares científicos y uno que otro texto consultado, incluida la transcripción del discurso de su hija Josefa Royo González, los cuales han servido como presentación de su vida y obra, en particular, la impresa 'por Diéguez, C., et al., (2004), la que recomendamos ampliamente.

#### Pre y post guerra española

Nacido en Castellón de la Plana, España en 1895, fallece el 30 de diciembre de 1961. Inició sus estudios universitarios en geología y paleontología con apenas 17 años de edad en 1912, de tal manera que se gradúa con honores en 1916 egresando de la Universidad de Madrid y del Museo de Ciencias Naturales en donde trabajará. Si bien su actividad universitaria fue prolífica, complementará la misma con un recorrido intelectual de postgrado y estudios avanzados que lo motivarán a recorrer parte de Europa en plan de estudios e investigación buscando consolidar su temprana experiencia en un especial tema de las Geociencias: la paleontología de vertebrados, además de dedicarse a otras disciplinas, que no le fueron extrañas: petrología, geología económica, aguas subterráneas, estratigrafía, yacimientos minerales e incluso geotecnia, entre otras. Sumado a su cotidiana práctica, la sombra de la Guerra Civil Española se atravesará en un decisivo momento de su vida intelectual y ellas actuará.



#### La sombra política en Royo y Gómez

A las actividades intelectuales que realizara Royo entre 1916 y 1939 en España, se le unirán especiales y tumultuosos hechos de inestabilidad política (Acosta Rizo, 2009) que bien podemos subdividir en 3 episodios: (a) Una vez proclamada la República en 1931, el profesor Royo inicia una tímida actividad (Sanfeliú Montolio, 2004:267) que ocasiona una disminución de su dinamismo científico, unido a su designación como miembro del Partido Nacional de Acción Republicana, el partido de Manuel Azaña (1880-1940+) connotado escritor y político republicano. Es así que Royo y Gómez será un hombre de izquierdas, tildado de *masón* en forma despectiva por algunos y miembro de la facción rebelde del republicanismo ilustrado, hecho que le valdrá un claro protagonismo en la implantación del partido en su ciudad natal, y de dos diputaciones; (b) El XVII Congreso Geológico Internacional de Moscú es celebrado en 1937, año en que se acumularán observaciones sobre las

tendencias de izquierda de Royo y Gómez. Éste era el jefe de la delegación española y su presencia no influyó positivamente del todo que era lo que se esperaba, al calificarlo como miembro del “triumvirato de Moscú”, aspecto poco conocido (Acosta Rizo, *op. cit.*) y que no es tratado aquí. Al evento científico no se presentaron algunos países no-comunistas como Alemania, Italia y Portugal, pero en el caso que nos compete, en la figura de Royo presuntamente no solo existía un interés geológico sino que le fue atribuido cariz político (Montero, 2004:243).

Un balance de la participación hispana post-Congreso Geológico moscovita, muestra que fue visto más desde la perspectiva política de esos días que del conocimiento geológico-paleontológico. Esta era la óptica del gobierno que integraba el nuevo régimen instaurado por Francisco Franco, y por quienes incitados con algunos aduladores de oficio que decían trabajar en áreas similares a las practicadas por Royo. Tal situación agravaría la situación del naturalista y ya reconocido docente, quien perdería el cargo que tenía en el Museo de Ciencias Naturales de Madrid y la “justicia franquista” haría recaer sobre su persona varias condenas de muerte (e.g. Martínez Morroño, 2004:259 y Acosta Rizo, 2009:109). Dadas las circunstancias de persecución, el 28 de enero de 1939, la pareja integrada por los Royo-González, -incluyendo sus hijos: José (Pepe) y Josefa (Pitusa), emprenden a bordo de una ambulancia el camino de la frontera con Francia por Portou, Barcelona, la traspasan y ya fuera de España, parten hacia Toulouse ciudad en donde vivirán por un tiempo y de allí rumbo al exilio en tierras de Colombia. Ya había concluido para él su etapa de investigador y científico en España, pero la continuaría en el primer país que le dio acogida, dedicándose íntegro a la investigación que ya traía desde su etapa española hasta proseguir a Venezuela doce años después en donde proseguiría sus estudios, investigaciones y docencia desde su llegada en 1951 hasta su deceso.

#### “La postguerra colombiana” en la vida de Royo y Gómez y en su papel hombre de ciencia

Desde Toulouse, se traslada con la familia al puerto de Le Havre y de allí el 10 de abril del 39 desembarcan en Puerto Colombia (Martínez Morroño, *op. cit.*), dirigiéndose a la capital, Bogotá en donde lo esperaba un encuentro en procura de trabajo. Previo a esta circunstancia, narra su hija, Doña Josefa Royo González en un breve pie de página (Acosta Rizo, 2009:100): “Pablo Vila estuvo en Colombia entre 1915 y 1918 donde fue director del Gimnasio Moderno, logrando un buen reconocimiento en el ambiente pedagógico colombiano. Siendo amigo de José Royo y Gómez, en el ínterin y encontrándose en Barcelona, España se entera que los Royo González se encuentran en Toulouse y le ofrece al amigo, interceder por él ante el presidente de Colombia”. Se desconoce, si llegaron a ver a ser positivas estas diligencias, pero el deseo del Royo y Gómez, era que sus

colegas en el exterior hicieran llegar su *Curriculum Vitae* a quienes pudiesen estar interesado en sus servicios. Vila y Royo compartirán muy buenos momentos en Venezuela, los cuales serán compartidos entre las aulas de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia y del Instituto Pedagógico Nacional.

El 27 de abril del 39 es entrevistado en el Ministerio de Minas y Petróleo colombiano y obtendrá el cargo de geólogo-paleontólogo asesor del Servicio Geológico y encargado del Laboratorio. En idéntica forma fue fundador del Museo de Geología de Bogotá junto a Benjamín Alvarado Biester, ingeniero geólogo, científico y consultor (1908-1993+) compartiendo créditos compartiendo Royo y Gómez créditos con el denominado padre de la geología de Colombia (Espinoza Baquero, 1994). Como dato anecdótico (Royo González, 1995:91) Don José se valió de toda idea en beneficio de la obra que traía en mente y la cual rindió réditos desde su etapa española en las Geociencias, para formar personal que trabajará en un Museo Geológico para Bogotá, y así comienza en lo inmediato a recolectar, clasificar y preparar material a exhibir reuniendo 58.000 muestras de las que describe en una misiva a Vincent Sos Baynat (2004):

“Cuento con millares de ejemplares que ocupan trece armarios, con sus cajones con bandejas, seis armarios grandes, con cajones; muchísimos estantes y poyos [sic] de mampostería”,...“Un buen lote de fósiles, debidamente clasificados, está dispuesto en una vitrina central”...“He montado un esqueleto de Megaterio. He logrado reunir una gran biblioteca”. El local...tiene 40 metros de largo, 3 metros de ancho en el extremo norte y 12 metros de ancho en el extremos sur; consta de planta baja y piso”.

Entre sus ideas, hizo realidad la enseñanza de clasificar foraminíferos a una secretaria con un microscopio prestado, instruyó a un campesino, al que llamaban *Perico*, en la tarea de excavación y restauración de fósiles, y a una trabajadora de la limpieza que enseñó a separar la ganga de los fósiles. No contento con ello, formó a uno de sus alumnos en la tarea de actuar como director museístico durante sus ausencias por estudios de campo. Este aspecto consolidó su obra que aprovecharía sanamente en cada oportunidad que le fuese presentada para recorrer Colombia en cualquier tipo de vehículo, incluso a pie (Royo González, *op. cit.*), estableciendo campamentos volantes y aprovechando cada oportunidad para recolectar fósiles. Por esta acción y por haber elaborado el primer Mapa Geológico de Colombia, recibió junto a otros colegas del Servicio Geológico Nacional, la condecoración Agustín Codazzi. Para el enorme trabajo que encaró, los antecedentes científicos de Don José desde sus tiempos en España y Europa, hablaban por sí solos; un voluminoso currículo con trabajos de campo, investigaciones y artículos tecno-científicos de impecable calidad, casi 150 publicaciones (Rodríguez Arteaga, 2022).

No solo se dedicará a la obra museística en su fase neogranadina, sino que practicará y hará estudios en todas aquellas cátedras ligadas a la geología: petrología, paleontología, geología económica, aguas subterráneas, estratigrafía, yacimientos minerales e incluso geotecnia, entre otras. Eso sí, mantuvo su filosofía de izquierdas y su simpatía con la ideas liberales, pero no ejerció en Colombia actividad política alguna (Acosta Rizo, 2009:113), siendo su única vinculación la correspondencia y publicaciones que intercambiaba con colegas de la Sociedad Nacional de Cooperación con el Extranjero denominado *a posteriori* Centro Ruso de Cooperación Internacional, Cultural y Tecno-científica (Acosta Rizo, *op. cit.*), cuya constitución aparece publicada en los diarios El Espectador, El Tiempo y El Liberal de los días 10, 11 y 12 de abril de 1945 (Acosta Rizo, 2009:116).

En el campo de la docencia, Royo y Gómez legó a Colombia una importante contribución, pues en 1947 al crearse la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional de Bogotá, le es encargada la preparación de programas para el Departamento de Geología y es nombrado desde el primer momento profesor de la misma, aspecto que no pudo alcanzar en España. Siguiendo así, los programas elaborados de su puño y letra se formaron y graduaron los primeros geólogos colombianos a nivel universitario (Sanfeliú Montolio, *op. cit.*). Además de ello, dictará Geología y Paleontología del Cuaternario en el Instituto de Etnología de Colombia, pero la actividad más importante la dedica a la exploración y la investigación con fines prácticos, económicos y de construcción. Las actividades más grandes desarrolladas por Royo en Colombia al igual que en Venezuela (de Aguirre, 2004:100) entre 1939 y 1961, fueron: la creación de cátedras y museos, el descubrimiento e interpretación de novísimos yacimientos fosilíferos y un particular hecho, la contribución que hizo al progreso de la cartografía geológica de entonces, además del uso normal de la fotografía con igual fin, el ilustrar la geología: física, de rocas y de fósiles que en forma indistinta utilizó en ambos países (de Aguirre, *op. cit.*) utilizándola como auxiliar de la observación y con fines de ilustración y archivo. Para sus trabajos y según su hija Josefa, el profesor Royo expresaría: *¿Cómo los alumnos pueden aprender geología o geografía, si no tienen en la mano lo que se les explica?* (Royo González, 2004).

#### La “postguerra venezolana” en la vida de Royo y Gómez y en su papel hombre de ciencia

En 1951, debe dejar Colombia por cuanto la dolencia cardíaca de su esposa y la propia, se acrecentaban con la altura de Bogotá. Su colección del museo neogranadino, estaba integrada ese año por 34.932 muestras que incluían ejemplares de rocas, minerales y secciones delgadas (Sos Baynat, 1995:25-28). Terminada la guerra, bien podía retornar a España tras 12 años de separación forzada, empero aún pendían sobre su persona varias sentencias de muerte (e.g. Acosta Rizo, 2009:109; Martínez Gorroño,

2004: 259). Aprovechando la estancia en Venezuela de su hijo y su nieto, decide partir a en procura de mejores aires para mejorar la deteriorada salud de ambos (Acosta Rizo, *op. cit.*). Y es aquí en donde obtiene varios ofrecimientos de empleo: la Universidad Central de Venezuela; la Escuela de Geografía de la Facultad de Humanidades; del Instituto de Ciencias del Instituto Pedagógico Nacional y de la Escuela Militar, sección de Ingenieros para dictar clases de Geología, así como en la Escuela Técnica Industrial en las que se encargará de la Mineralogía y la Geología. (Rodríguez Arteaga, 2021:47-49). Después de su llegada a Caracas en septiembre de 1951, comienza a trabajar como profesor titular de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia de la Universidad Central de Venezuela, (Martínez Gorroño, 2004:259).

El profesor Royo, además de plantearse un proyecto de Museo de Geología en Caracas, *a la manera del que montó en Bogotá* y en el que contaba según sus palabras [con el]...*apoyo de las compañías petroleras instaladas en Venezuela*, redactaría y publicaría un extenso trabajo sobre el *Cuaternario en Venezuela*, incorporado al I Léxico Estratigráfico de Venezuela, Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología, Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (Royo y Gómez, 1956:468-478) llevando el nombre de *Quaternary non-differentiated* en su versión inglesa utilizada en este trabajo, e incluida en una larga Lista Cronológica de las Unidades Estratigráficas de Venezuela. Igualmente colaborará en la redacción de un breve artículo sobre la Formación Los Llanos (término inválido en su 2ª edición, 1969), correspondiente a los estados Sucre, Monagas y Anzoátegui (Royo y Gómez, 1956:326) y la Formación Mesa (Royo y Gómez, *op. cit.*), término válido para el mismo año y de la misma edad geocronológica.

En 1960 asistió al XXI Congreso Geológico Internacional celebrado en Copenhague, Dinamarca donde presentó un trabajo sobre vertebrados pleistocenos. En 1959 había expuesto los avances sobre el mismo en el III Congreso Geológico de Venezuela, además de un clásico en su extenso repertorio de trabajos técnicos: El *Estudio de las plantas fósiles de la Formación Barranquín*. Quizás su área natural de estudios la haya localizado en los terrenos del estado Falcón, entre tantos otros con abundancia de flora y fauna fósiles, pero no eran los únicos. Allí estaban también las formaciones Barranquín y Urumaco, entre otras y la localidad de El Muaco. Un ejemplo muy particular de ello está constituido por la región ya nombrada ubicada en el estado Falcón a la que le dedicó tiempo y estudios en compañía del antropólogo y director del Museo de Ciencias de Caracas, José María Cruxent. Es así que en 1959, publican un trabajo titulado: *Características paleontológicas y geológicas del yacimiento de El Muaco, estado Falcón, con industria lítica humana*, toda una obra en que se mezclan estas 2 ciencias ligadas a la paleontología. Durante los trabajos de campo,

Cruxent y Royo encontrarían fragmentos, cantos, y rocas empleadas por el hombre para romper huesos, a la par de esqueletos completos de tortugas gigantes, megaterios y mastodontes en un ambiente muy diferente al actual, esencialmente caluroso y muy seco y aquel, constituido por un clima húmedo con vegetación abundante. Los ejemplares fósiles recolectados fueron llevados a la Escuela de Geología en el mismo año de su captación encargándose el propio Don José de ordenar y clasificar las piezas extraídas y las cuales siguen guardadas con celo, ocupando la entrada de la institución y constituyéndose éste en el museo de su mismo nombre: Royo y Gómez.

De este singular hallazgo escribe a Vicente Sos Baynat una carta explicativa de la fauna fósil del estado elaborada en Caracas el 14 de junio de 1959 y señalando también que dicho trabajo lo presentó en una convención de la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia, (ASOVAC) (Sos Bainat, 2004:59-60): "Se trata de un yacimiento en un manantial ascendente, con un espesor de sedimentos fangosos de dos o tres metros, donde en la serie natural, se encuentran esqueletos completos, por hundirse en el lodo todos los animales la última retracción al ir a beber. Aparecen abundantes huesos sueltos, sin señales de haber sido rodados, ni rotos por las fieras, solo rotos en especial, aquellos que tienen tuétano, o cráneos sonde estaban los sesos (...) todos del Pleistoceno superior, de la última retracción glacial (...) unos 16.300 años.

#### Dos docentes en el Pedagógico Nacional

Entre 1952 y 1960, Royo forma parte de la plantilla profesoral de la institución en la que dictará Mineralogía y Geología, asignaturas del Departamento de Geografía e Historia previamente fundado y dirigido por Pau Vila en 1946 a tenor de una invitación del Ministerio de Educación Nacional. Esta simbiosis fue inmediata, pues para compartir saberes y siempre respetando sus respectivas disciplinas y directrices de quien la hubiese organizado, se invitaban mutuamente a excursiones de campo y ocupan espacios de interés sin solaparse (Escamilla Vera, 2002).

Muy común era verlos mezclarse con alumnos de ambas instituciones. Así, en estas excursiones Vila buscaba ampliar su formación geológica aspecto que le serviría para el enriquecimiento de su obra en 2 tomos: *Geografía de Venezuela*, sobre todo en el primero, dedicado al estudio del territorio y el ambiente físico del país. Royo por su parte, complementará su experiencia de tal forma que en 1961, tenía casi terminada una obra que le ocupó más de 5 años de ardua labor, se trataba de un texto de enseñanza secundaria en que había trabajado por encargo del Instituto Pedagógico Nacional y que trataba sobre geología y mineralogía, llevando por título: *Introducción a las Ciencias Geológicas*. Con el correr de los años y las necesarias transformaciones que toda institución docente tiene, llegó la renovación a las escuelas de Geología,

Geofísica y Geografía de las universidades nacionales (Pacheco, *et al.*, 2007:278); en el IPN, -el de los años 50'-60'-, los docentes del Departamento de Geografía e Historia, en forma conjunta a los de Biología y Química, comenzarán a cultivar una nueva especialidad, las Ciencias de la Tierra. Entre ellos estará José Royo. Su vida fue generosa y dedicada a la investigación. Fallece el 30 de diciembre de 1961 en la ciudad de Caracas. Lo seguirá quien fuera su amigo y director, Pablo Vila Dinarés nacido en Sabadell, provincia de Barcelona, el 29 de junio de 1881 y el cual fallece en Barcelona, España el 15 de agosto de 1980, a los 99 años de edad. Hoy en día en su antigua Castellón de la Plana existe un parque conocido como *Parque del Geólogo, José Royo*. (Sergio Foghin, *com. pers.*, 2022).

#### Bibliografía

- ACOSTA RIZO, Carlos Alberto. (2009) *La herencia científica del exilio español en América. José Royo y Gómez en el Servicio Geológico Nacional de Colombia*. Trabajo doctoral, Universitat autònoma de Barcelona Departamento de Filosofía, España, 296 pp.
- BRICEÑO, HENRY; MÉNDEZ, WILLIAMS; BARRIENTOS, YOLANDA Y SUÁREZ, CARLOS (2007) *33 de años de trayectoria del Departamento de Ciencias de la Tierra: aportes a la consolidación de la investigación y el postgrado en el Instituto Pedagógico de Caracas*, 277-291 pp. (Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2007) *Signos de luz y arraigo. El Instituto Pedagógico de Caracas en sus 70 años*. Ediciones del Rectorado, Caracas, 330 pp.).
- CMGT (1956) *Stratigraphical Lexicon of Venezuela* (English Edit.), República de Venezuela, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, y el post Boletín de Geología, Special Pub. N°1. Caracas, 664 pp.
- DE AGUIRRE, Emiliano. (2004) *José Royo Gómez, científico español del siglo XX*. (DIÉGUEZ, C., PEREJÓN, A. Y TRUYOLS, J. (2004) *Homenaje a José Royo y Gómez 1895-1961*, Monografies, (Consell Valencia de Cultura edit.), Valencia, España, 321 pp.
- ESCAMILLA VERA, Francisco (2002) *Pablo Vila y el exilio español en Venezuela*. Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, [Documento en línea] (marzo 14, 2022) <https://revis253-tes.uib.edu/index.php/b3w/article/view/255231>
- ESPINOSA BAQUERO, Armando, (1994) *In Memoriam: Benjamín Alvarado Biester*, Ingeominas, 4 pp. <http://revistas.svg.gov.co/index.php/boletingeo/article/view/461/419>, [Documento en línea] (marzo 4, 2022).
- MARTÍNEZ MORROÑO, María Eugenia. (2004) *Etapas americanas de la vida de José Royo Gómez*. 253-261. (DIÉGUEZ, C., PEREJÓN, A. Y TRUYOLS, J. (2004) *Homenaje a José Royo y Gómez 1895-1961*, Monografies, (Consell Valencia de Cultura edit.), Valencia, España, 321 pp.).
- MONTERO, ÁNGEL (2004) *El viaje a Rusia en 1937 de José Royo y Gómez y Vicente Sos Baynat*, 243-251. (DIÉGUEZ, C., PEREJÓN, A. Y TRUYOLS, J. (2004) *Homenaje a José*

- Royo y Gómez 1895-1961, Monografies, (Consell Valencia de Cultura edit.), Valencia, España, 321 pp.
- RODRÍGUEZ A. José A. (2022) *Breves memorias de 34 Geocientistas en la Geología de Venezuela*. Boletín de Historia de Historia de las Geociencias en Venezuela, 1-62 pp. (SVHGc N° 137, 348 pp.).
- ROYO Y GÓMEZ, JOSÉ (1956) *Los Llanos Formation*. 326 p. (CVGT, 1956. *Stratigraphical Lexicon of Venezuela* (English Edit.) Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos., República de Venezuela, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, Boletín de Geología, Special Pub. N°1. Caracas, 664 pp.).
- ROYO Y GÓMEZ, JOSÉ (1956) *Mesa Formation*, 364-366 pp. (CVGT, 1956. *Stratigraphical Lexicon of Venezuela* (English Edit.) Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos., República de Venezuela, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, Boletín de Geología, Special Pub. N°1. Caracas, 664 pp.).
- ROYO Y GÓMEZ, JOSÉ (1956) *Quaternary non-differentiated*, 468-478 pp. (CVGT, 1956. *Stratigraphical Lexicon of Venezuela* (English Edit.) Dirección de Geología

- del Ministerio de Minas e Hidrocarburos., República de Venezuela, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, Boletín de Geología, Special Pub. N°1. Caracas, 664 pp.).
- ROYO, GONZÁLEZ, Josefa (2004) *Discurso pronunciado en el acto inaugural*. (DIÉGUEZ, C., PEREJÓN, A. Y TRUYOLS, J. (2004) *Homenaje a José Royo y Gómez 1895-1961*, Monografies, (Consell Valencia de Cultura edit.), Valencia, España, 321 pp.).
- SANFELIÚ MONTOLIO, Teófilo (2004) *José Royo y Gómez y Vicente Sos Baynat, geólogos castellanenses*, 265-272 p. (DIÉGUEZ, C., PEREJÓN, A. Y TRUYOLS, J. (2004) *Homenaje a José Royo y Gómez 1895-1961*, Monografies, (Consell Valencia de Cultura edit.), Valencia, España, 321 pp.).
- SOS BAYNAT, Vicente. (2004) *Epistolario de José Royo Gómez. Su labor geológica en Colombia y en Venezuela*, 45-53 pp. (DIÉGUEZ, C., PEREJÓN, A. Y TRUYOLS, J. (2004) *Homenaje a José Royo y Gómez 1895-1961*, Monografies, (Consell Valencia de Cultura edit.), Valencia, España, 321 pp.).



Páramos de Bogotá, 1945. Royo y Gómez fotografiado en un yacimiento fosilífero.



El Muco, 1958, estado Falcón. José Royo y Gómez, describiendo a unos alumnos un yacimiento fosilífero en la localidad.

Fuente: Acosta Rizo (2009)

# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Luigi E. Sojo Hidalgo**

**Prospección de aguas subterráneas a través del método electromagnético de muy bajas frecuencias (VLF), mediante el equipo EM16/16R/TX-27, Costa Rica.**

Universidad De Costa Rica.

Práctica dirigida para optar por el grado académico de: Licenciatura en Geología, 2020

Director: *Arias Salguero Mario Enrique.*

### Resumen

Este trabajo muestra la primera aplicación del método electromagnético de Muy Baja Frecuencia (VLF) en Costa Rica, con el objetivo general de determinar el potencial uso y ventajas del equipo VLF EM16/16R, TX-27 en la prospección hidrogeológica en los distritos de Carmona, San Pablo y Santa Rita en el cantón de Nandayure y compararlo con Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

El trabajo de campo se planificó en función del contexto geológico e hidrogeológico local. Se prospectaron trece perfiles VLF y trece perfiles VLF-R, tanto con la estación portable TX-27 como con la estación transmisora VLF regional NAA, pues ambas brindan una excelente señal, siendo la estación portátil la más versátil para desarrollar la prospección de los objetivos seleccionados sin importar el rumbo o las condiciones del terreno, mejorando la señal recibida y disminuyendo el ruido, lo cual facilita la toma de datos e interpretación. Se exploró sobre formaciones de origen ígneo, sedimentario, depósitos coluviales y aluviales, ambientes geomorfológicos con pendiente alta, media y baja, sobre trazas de falla neotectónicas sugeridas y cubiertas. Además, se realizó dos perfiles geoeléctricos con sus respectivas correlaciones geológicas empleando ocho SEV existentes y pozos registrados en el área de estudio.

Como parte de los objetivos del trabajo final de graduación se establecen protocolos de uso para el equipo VLF EM16/16R, TX-27, así como procedimientos de aplicación del método en campo y del procesamiento de datos. Desde el punto de vista de la aplicación hidrogeológica, se logra delimitar anomalías VLF, tanto positivas como negativas que se asocian con: niveles de agua subterránea, zonas de subsidencia, trazas de fallas y contactos litológicos, esto mediante mapas de densidad de corriente, pseudosecciones de densidad de corriente y modelos de resistividad de cada uno de los sitios prospectados, los cuales se han correlacionado con los modelos geoeléctricos obtenidos de los SEV, proporcionando insumos para un futuro modelo conceptual hidrogeológico de la zona.

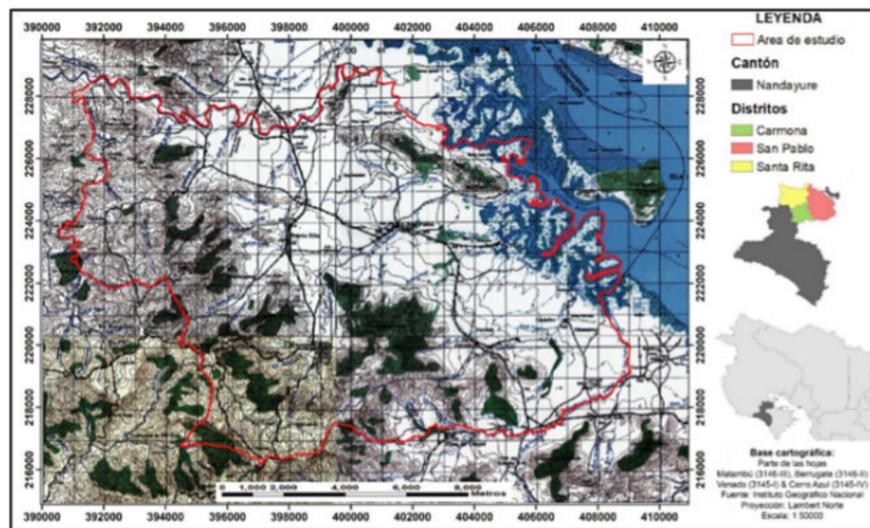


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.

## Acoplamiento del rumbo geoeléctrico a invariantes de rotación del tensor de impedancias magnetotelúrico en presencia de distorsión galvánica.

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geofísica Aplicada, 2021

Sustentante: **Rocío Fabiola Arellano Castro**

Director de tesis: *Dr. Enrique Gómez Treviño*

### Resumen.

El método magnetotelúrico se ha vuelto una técnica muy empleada en años recientes dado que permite estimar impedancias electromagnéticas de la Tierra mediante la medición de ondas electromagnéticas que tienen origen natural y que ocurren en un rango de frecuencias muy amplio. Sin embargo, estimaciones de las impedancias transversal eléctrica y transversal magnética del tensor magnetotelúrico bidimensional pueden no estar acopladas con la dirección del rumbo de la estructura, teniendo además implicaciones significativas cuando se trata con distorsiones galvánicas. Entre los métodos utilizados actualmente se pueden obtener impedancias sin distorsión combinando una ecuación cuadrática con el tensor de fase. En la terminología de Groom-Bailey, la ecuación cuadrática proporciona amplitudes y fases que son inmunes al giro o twist y el tensor de fase proporciona fases inmunes tanto al twist como a la cizalla o shear. Por otro lado, se pueden obtener los ángulos de rumbo sin distorsión utilizando el enfoque de Bahr o el tensor de fase. En principio, esto es todo lo que se necesita para proceder a una interpretación bidimensional.

Sin embargo, las impedancias resultantes ignoran el rumbo porque son invariantes bajo la rotación del sistema de coordenadas y, si van a estar relacionadas con un rumbo geológico, deben estar acopladas a una dirección particular. Esta es una ambigüedad adicional a la ya conocida de 90 grados que surge en los métodos clásicos de determinación del rumbo y que debe resolverse de forma independiente. En este trabajo utilizamos el modelo de descomposición de Groom-Bailey para resolver la ambigüedad al traer de vuelta el acoplamiento entre impedancias y rumbo en presencia de distorsiones galvánicas. Nuestro enfoque es un híbrido entre los métodos numéricos y analíticos existentes que reduce el problema a una decisión binaria. Presentamos tres algoritmos, dos de ellos aún requieren optimizar el ajuste a los datos y el tercero solo necesita una comparación de fases. Los tres realizan un seguimiento de los posibles cruces de las curvas de fase, lo que proporciona una solución clara y única. Usamos datos sintéticos y de campo para ilustrar el desempeño de los tres esquemas.

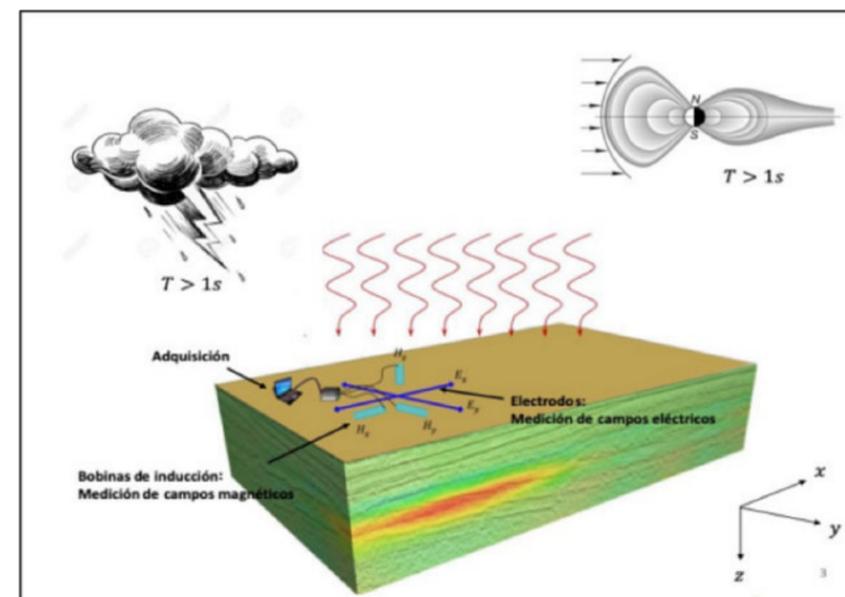


Figura 1.1. Esquema de un levantamiento del método magnetotelúrico. Se utilizan bobinas para medir los campos magnéticos y pares de electrodos para los eléctricos.

## Desarrollo de un sistema aeromagnético con drones para exploración geofísica con aplicación en Maar De Rincón De Parangueo Y Caldera Los Humeros

Universidad Nacional Autónoma De México.

Tesis que para optar por el título Maestro En Ciencias De La Tierra (Exploración Geofísica), 2021

Sustentante: **Andrés Arzate Monterrubio**

Tutor: *Dr. Fernando Corbo Camargo*

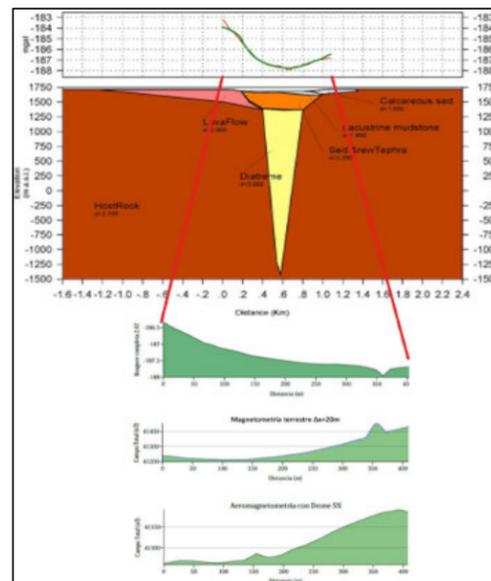
### Resumen.

En esta investigación se desarrolló un sistema de exploración aeromagnética, utilizando magnetómetros tipo fluxgate que fueron especialmente diseñados para ser transportados por un dron y utilizados en modo de adquisición continua. Este magnetómetro, modelo LEMI-026, se diseñó a partir de un convenio del Laboratorio de Exploración Geofísica del Centro de Geociencias (CGEO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el Laboratorio de Electromagnetismo de la Academia Ucraniana de Ciencias. Como resultado, se logró construir un magnetómetro ligero y de bajo costo, con una frecuencia de 250 muestras/segundo. Dicho magnetómetro no se produce comercialmente y se espera que a partir de los resultados de este trabajo se lleven a cabo los cambios necesarios para mejorar su desempeño y versatilidad.

Como parte de este trabajo se desarrollaron las componentes mecánicas y electrónicas necesarias del sistema aeromagnético para su adecuado funcionamiento, entre las que se encuentran el sujetador del magnetómetro al dron, que fue una parte fundamental para mantener al magnetómetro en posición vertical. También, se llevaron a cabo las pruebas necesarias para validar los procedimientos de vuelo y de adquisición, como también, para el procesamiento de los datos y su análisis cuantitativo e interpretación cualitativa. De igual manera, se realizaron pruebas de ruido y pruebas de vuelo en diferentes aeronaves, se experimentaron diversos tipos de ensamblajes magnetómetro-dron para hacer más estables los vuelos del sensor triaxial y optimizar su funcionamiento. Uno de los mayores retos fue reducir el “campeo” (movimiento del sistema de suspensión oscilatorio) del magnetómetro en vuelo, lo cual se logró a un mínimo mediante el diseño de un sujetador con tres grados de libertad y un estabilizador mecánico con dos grados de libertad adicionales. Con ello, se estandarizó el procedimiento de adquisición y el procesamiento de los datos, lo cuales pueden alcanzar los 150,000 datos en vuelos de sólo 10 minutos.

Finalmente, se llevaron a cabo vuelos de prueba en zonas de interés geológico para demostrar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado. Uno de los levantamientos fue realizado en el cráter maar Rincón de Parangueo, sitio que fue seleccionado debido a la existencia de mediciones magnéticas terrestres con el propósito de comparación. De manera paralela, se hizo otro levantamiento en la caldera de Los Humeros, en el marco del proyecto “Innovación en la aplicación de técnicas modernas de prospección geotérmica a partir de la integración de métodos geológicos, geoquímicos y geofísicos, caso de estudio del campo volcánico-geotérmico de Los Humeros” (Consortio SENER-CONACYT CeMie-Geo, P05).

*Figura 1.1.* a) Modelo del cráter Maar Rincón de Parangueo (Aranda-Gómez et al., 2004) b) Perfil Gravimetría sobre perfil I-2 c) Magnetometría terrestre sobre I-2, (Yutsis et al., 2014) d) perfil Aeromagnético con dron sobre I-2.



## Medidas de robustez, incertidumbre y markovianidad para estimaciones markovianas y semi-markovianas (con memoria de un paso) de peligro sísmico. Aplicación a las regiones de Japón y 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 Doctor en Ciencias, 2021

Sustentante: **Quiriat Jearim Gutiérrez Peña**

Director de tesis: *Dr. Fidencio Alejandro Nava Pichardo*

### Resumen.

Presentamos medidas para cuantificar robustez, incertidumbre, markovianidad, y significatividad de resultados de análisis markovianos para la evaluación del peligro sísmico (la probabilidad de que ocurra uno o más sismos en un rango de magnitud y en ventanas de tiempo y espacio dadas). Proponemos también el uso de un discriminante basado en dichas medidas, adecuadamente normalizadas, que permite asignar una calificación a los resultados de una evaluación, así como escoger entre varios modelos cuál es el que da mejores resultados. Aplicamos las medidas y el discriminante mencionados a la estimación del peligro sísmico en Japón y México, usando la base de datos del catálogo del ISC. Definimos como sistema un área geográfica sísmicamente activa dividida en regiones y los estados markovianos corresponden a dichas regiones; después de cada sismo el sistema se encuentra en el estado correspondiente a la región donde ocurrió el sismo. Delimitamos las regiones con base en las principales estructuras tectónicas y en la sismicidad. Probamos dos estrategias: una sola magnitud umbral para todas las regiones y magnitudes umbral diferentes para cada región que resulten en poblaciones similares para todas las regiones. Se observa que para ambas estrategias magnitudes umbral  $M_w \geq 7$  resultan en estimaciones más markovianas y, en general, mejores, que las resultantes de magnitudes umbral menores. De los modelos óptimos para Japón obtenidos para ambas estrategias encontramos que existe fuerte interacción entre las regiones uno (trinchera de las Kuriles) y dos (trinchera de Japón); la región dos tiene fuerte interacción con la región uno y cuatro (trincheras de Nankai y Ryukyu); la región tres (trinchera Izu-Bonin) tiene fuerte interacción con ella misma; la región cuatro tiene fuerte interacción con ella misma y con la región dos; la región cuatro y tres tienen poca interacción entre ellas. Para modelos con magnitudes umbral lo suficientemente grandes para tener buena markovianidad, no hubo suficientes datos para caracterizar los intervalos de transición entre cada par de estados, ni para transiciones agrupadas por estado inicial. Sólo fue posible caracterizar al conjunto global de todos los intervalos observados como una posible distribución exponencial. La aplicación del método a México tiene la limitante de que los datos son escasos, por lo que, los resultados son poco confiables; pero a pesar de esto, se observa mayor markovianidad para magnitudes umbral mayores de 6.9 y el modelo óptimo resulta para  $M^T=7.1$  resultados que coinciden con los de Japón. Dado que es razonable suponer que la ocurrencia de un sismo grande pueda influir en la actividad de la región sismogénica más allá del siguiente gran sismo, implementamos un modelo semi-markoviano con memoria de un paso antes del presente. Aunque los datos no son suficientes para caracterizar completamente la semi-markovianidad del sistema usado, los resultados sugieren que, dados más datos, el peligro sísmico en el sistema analizado podría probablemente ser mejor descrito por un tratamiento semi-markoviano.

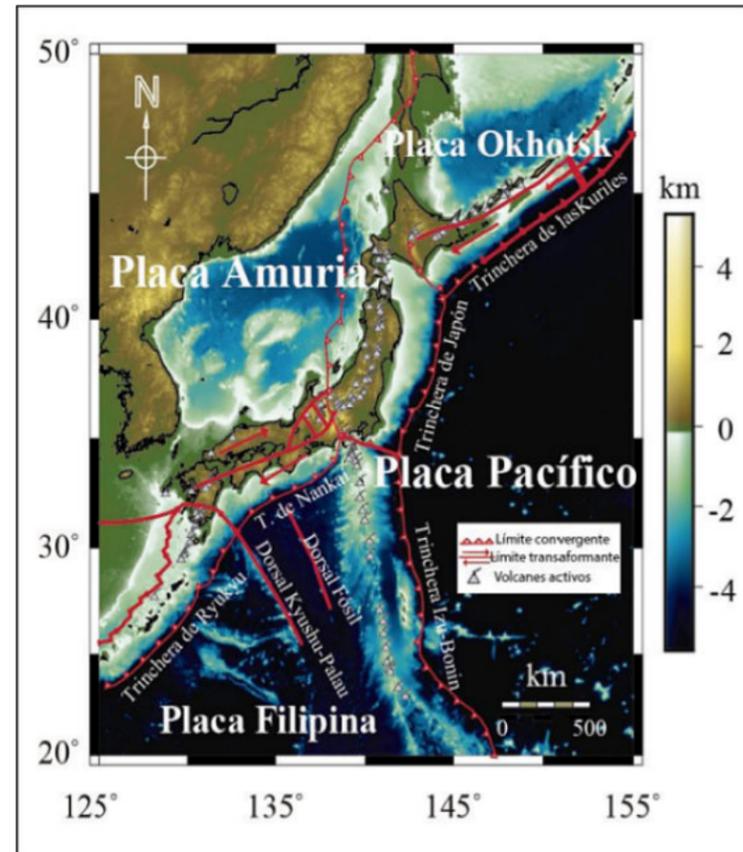


Figura 1.1. Marco tectónico de Japón. Las líneas rojas indican las estructuras tectónicas principales, los colores indica la topografía. Modificado de Gulick et al. (2004) y de Lee et al. (2016).

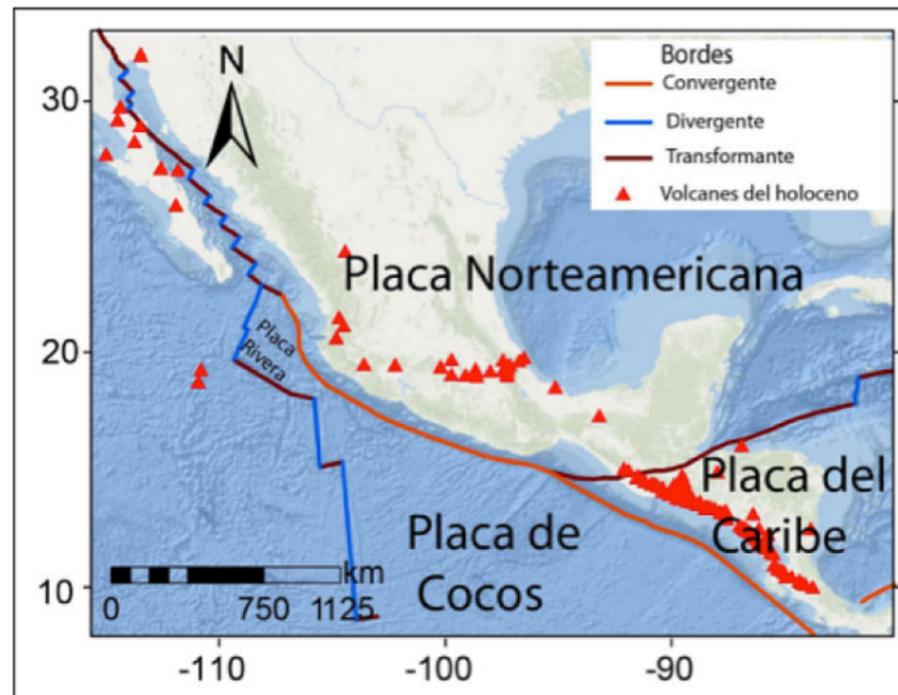


Figura 1.2. Marco tectónico de México. Las líneas indican las estructuras tectónicas principales.

## Caracterización Geofísica del acuífero local en Palma de La Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luís Potosí, México: Evaluación del aporte de agua residual proveniente del río Santiago

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

Tesis para obtener el grado de Maestro en Geociencias Aplicadas 29 de Junio 2020

Sustentante: **Jesús Alberto Azuara Vicente.**

Director de tesis: *Dr. Omar Delgado Rodríguez.*

### Resumen.

El sistema acuífero San Luis Potosí es la principal fuente de abastecimiento hídrico para la ciudad capital, así como del municipio de Soledad de Graciano Sánchez (SGS). El crecimiento de la mancha urbana ha traído consigo la sobreexplotación y la afectación de la calidad del agua subterránea y superficial en la región como ha sucedido con el río Santiago y el canal Tenorio, impactando el bienestar de la población que hace uso de estos recursos hídricos. En años recientes autoridades municipales y estatales han planteado la preocupación sobre la afectación posible que puede provocar el uso del agua del río Santiago tanto al riego de parcelas agrícolas aledañas al poblado Palma de la Cruz (SGS), como al acuífero local, el cual es explotado a través de varios pozos y norias en los alrededores del poblado. Por esta razón se decidió emprender un estudio geofísico utilizando métodos magnetométricos y geoelectricos, así como análisis químicos en muestras de agua colectadas en río, canales y pozos con el propósito de determinar los mecanismos de transmisión del agua proveniente de la unión del río Santiago y canal Tenorio al acuífero local y la afectación sufrida por este último.

Los estudios magnetométricos, tanto aéreos como terrestres, ubican el área de estudio en una zona de alto gradiente de campo magnético, el cual aumenta de Oeste a Este, afectado por la cada vez más cercana presencia de un basamento ígneo. Este resultado concuerda con los alcanzados de los estudios de SEV y sus secciones geoelectricas obtenidas donde una estructura tipo escalón entre las porciones norte y sur del área de estudio marcan una diferencia en los espesores de material aluvial de aproximadamente 150 m, facilitando un flujo de agua subterránea local en dirección W-E. Este flujo local hace que los mayores niveles de salinidad del agua subterránea observados en el área del poblado migren hacia el Oeste, al área de las parcelas agrícolas, mientras que valores de salinidad similares a la del río Santiago y canal Tenorio se observen en las norias que se encuentran perforadas dentro del sistema de canales de riego demostrando el rol fundamental que juega el sistema de canales en la transmisión vertical por infiltración del agua proveniente del río Santiago al acuífero local. El acuífero local es modelado como un acuífero libre compuesto de material aluvial de textura franco arenoso con presencia de lentes arcillo-limosos de baja permeabilidad. Estudios geoelectricos dados por SEV y Tomografía de Resistividad Eléctrica mostraron la existencia de un cuerpo laminar arcillo-limoso que limita el flujo de agua desde el cauce del río Santiago al acuífero local.

Los análisis químicos realizados a 19 muestras de agua extraídas del canal Tenorio, río Santiago y en norias del área de estudio no presentan metales pesados. Este resultado no puede asegurar la no existencia de factores de riesgos para la salud humana y animal, requiriéndose de futuros estudios químicos y microbiológicos en muestras de suelos, agua y plantas en el área de estudio.

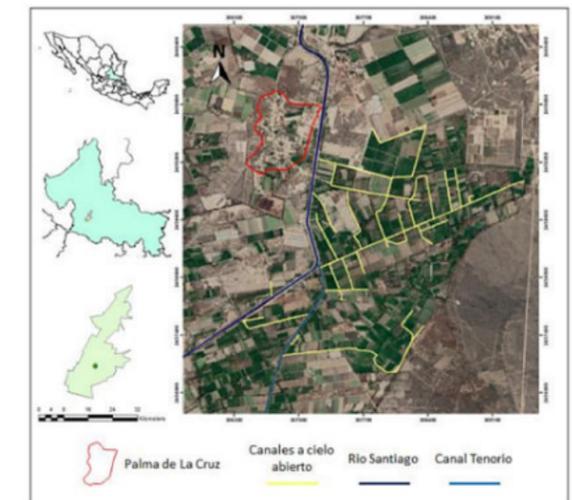


Figura 1.1. - . Zona de estudio, Palma de La Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí.

## Conos piroclásticos de aguas Zarcas: Evidencia de la transición de un régimen magmático de arco a trasarco, Costa Rica

Universidad De Costa Rica.

Tesis para optar por el grado de licenciatura en Geología, Enero 2020

Sustentante: **Esteban Jarquín Sánchez**

Directores de tesis: *Madrigal Quesada, María del Pilar.*

### Resumen.

Los Conos Piroclásticos de Aguas Zarcas, son un grupo de ocho conos de escoria y lava ubicados al norte del volcán Platanar de Costa Rica de edad 300 ka. Se desarrolló un estudio petrológico en estos conos, donde se realizó cartografía geológica, se levantaron columnas tefroestratigráficas, y se recolectaron muestras de bombas y lavas para su posterior análisis petrográfico y geoquímico. Esta información fue posteriormente procesada con el fin de estimar las condiciones que intervinieron en el origen de estos conos. Se determinó la existencia de dos componentes magmáticos. El primero, enriquecido en elementos de alto potencial iónico (HFSE), presenta alta influencia de la cuña mantélica y es típico de una tectónica extensional de trasarco que originó cinco conos alineados en una fractura (Morera, Juan Murillo, Vuelta Kooper, Valle Hermoso y Los Chiles) así como el cono Pital, que se encuentra aislado del resto. La actividad eruptiva de estos conos inició con una actividad efusiva fisural, que generó flujos de lava basálticos de baja viscosidad y posteriormente ocurrió una actividad más explosiva que formó los conos piroclásticos. El otro componente se evidencia solo en el cono Buenos Aires y está enriquecido en elementos móviles, por tanto, muestra mayor influencia de la losa de subducción. Loma Barrantes muestra características mixtas entre ambos componentes magmáticos. En Loma Barrantes y Buenos Aires la actividad ocurrió en una sola fase eruptiva de carácter explosivo. Se concluye que los Conos Piroclásticos de Aguas Zarcas representan una transición de un magmatismo de arco a trasarco, debido a que presentan características intermedias entre ambos ambientes geotectónicos, además, seis de los conos muestran más afinidad con un volcanismo de trasarco, mientras que los otros dos conos son más afines a un volcanismo de arco. Estas diferencias entre los conos se atribuyen a distintas fuentes magmáticas y a diferencias en la profundidad de la losa, la cual presenta un cambio en el ángulo de subducción al extremo noroeste de la Cordillera Volcánica Central, donde se encuentran los Conos de Aguas Zarcas.

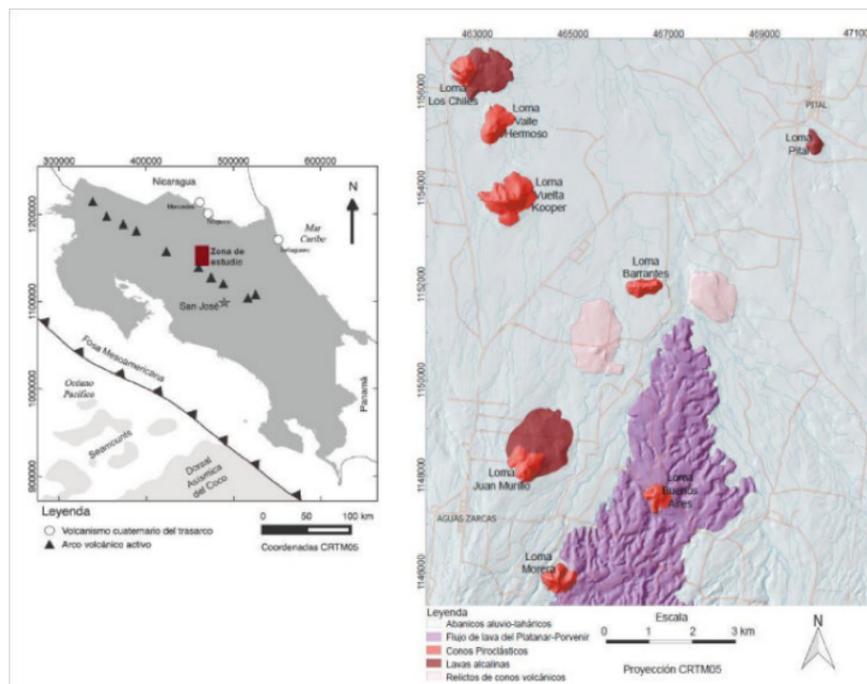


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio.

# Solución a la necesidad de producción petrolera de México en el corto plazo

**Alfredo E. Guzmán**

El archivo PDF se puede descargar aquí: [www.revistamaya.com](http://www.revistamaya.com)

PDF file can be downloaded here: [www.revistamaya.com](http://www.revistamaya.com)

### ALFREDO EDUARDO GUZMÁN

Nació en la Cd. de México y obtuvo sus grados de licenciatura (1971) y maestría (1973) en Geología en Texas Tech University.

Su experiencia laboral la inició en el Instituto Mexicano del Petróleo (1972 – 1973), continuando en Pemex Exploración y Producción (1974 – 2007), en la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2009 – 2010) y en diversas empresas internacionales de exploración y producción (2008 – 2021)

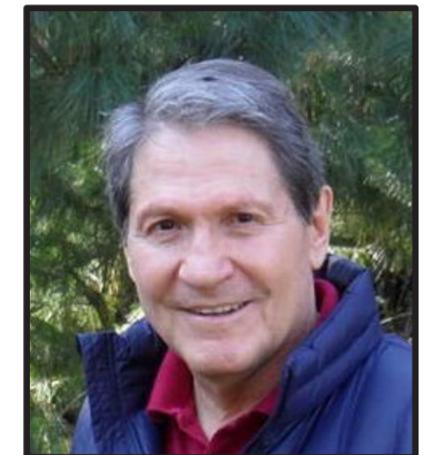
Es miembro de la AAPG, desde 1967 donde fue vicepresidente internacional y candidato a la presidencia; de la AMGP, donde fue presidente de la Delegación Poza Rica y presidente nacional; de la AIPM donde fue presidente de la Delegación Poza Rica y es Académico de Número de la Academia Mexicana de Ingeniería.

Múltiples premios y reconocimientos.

Ha sido catedrático en las universidades:

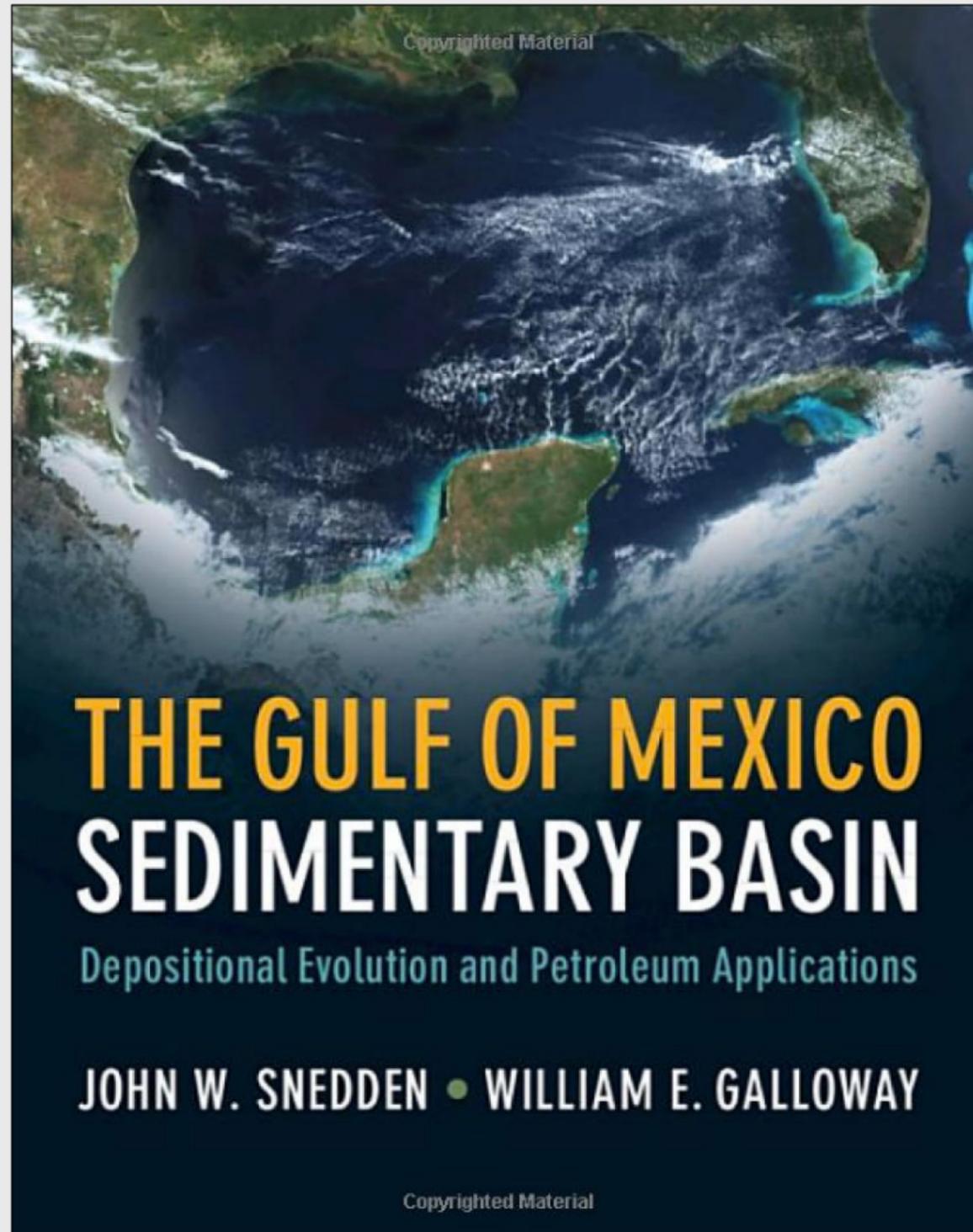
- Texas Tech, 1971 - 1972
- De Sonora, 1979 - 1980
- Autónoma de Chihuahua, 1982 - 1984
- Autónoma de San Luis Potosí, 1986 - 1989

Y es autor, coautor y ha sido conferencista de cientos de publicaciones y presentaciones.



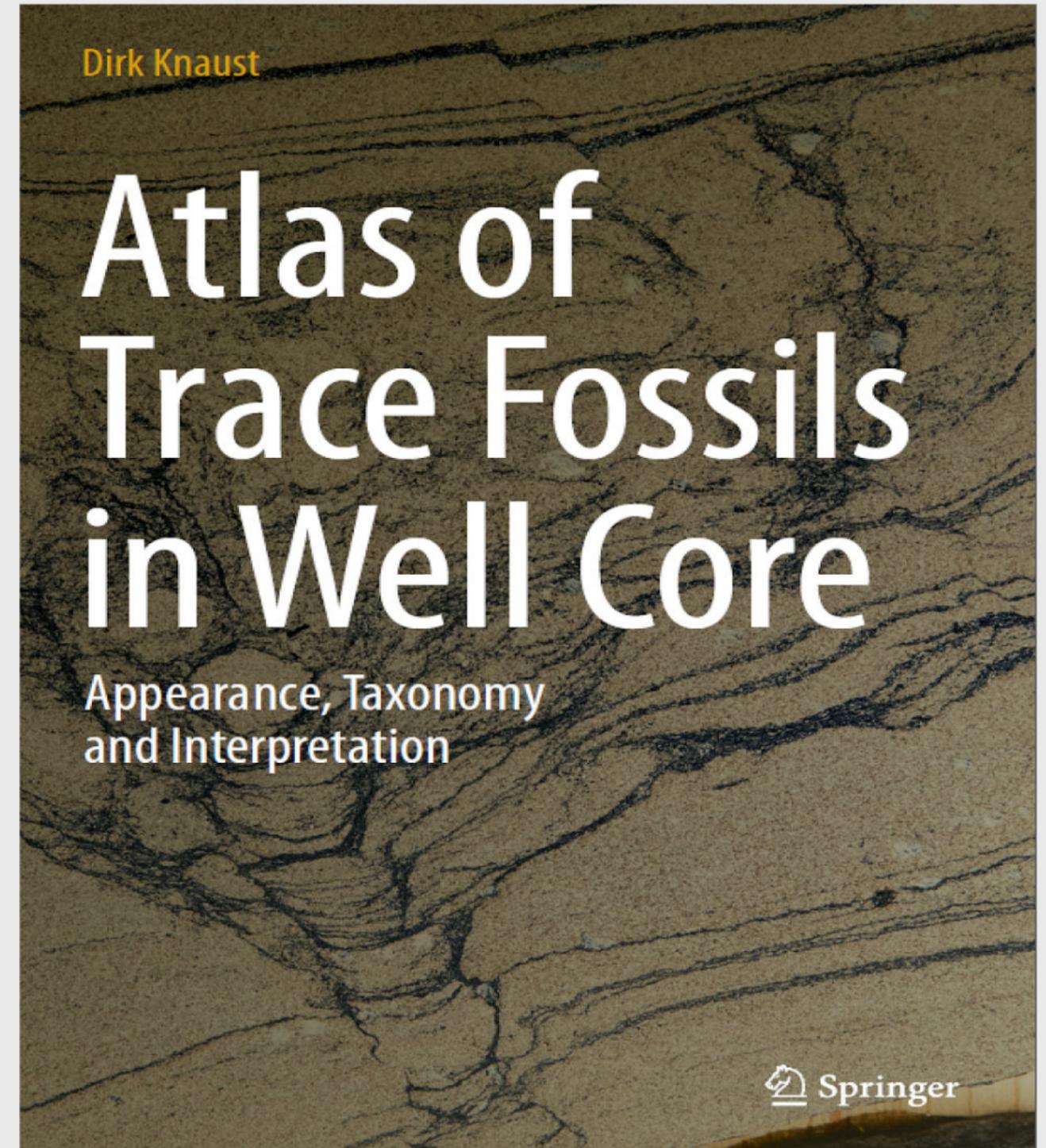
## El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Gulf-Mexico-Sedimentary-Basin-Depositional-ebook/dp/B07XVPX6WY>



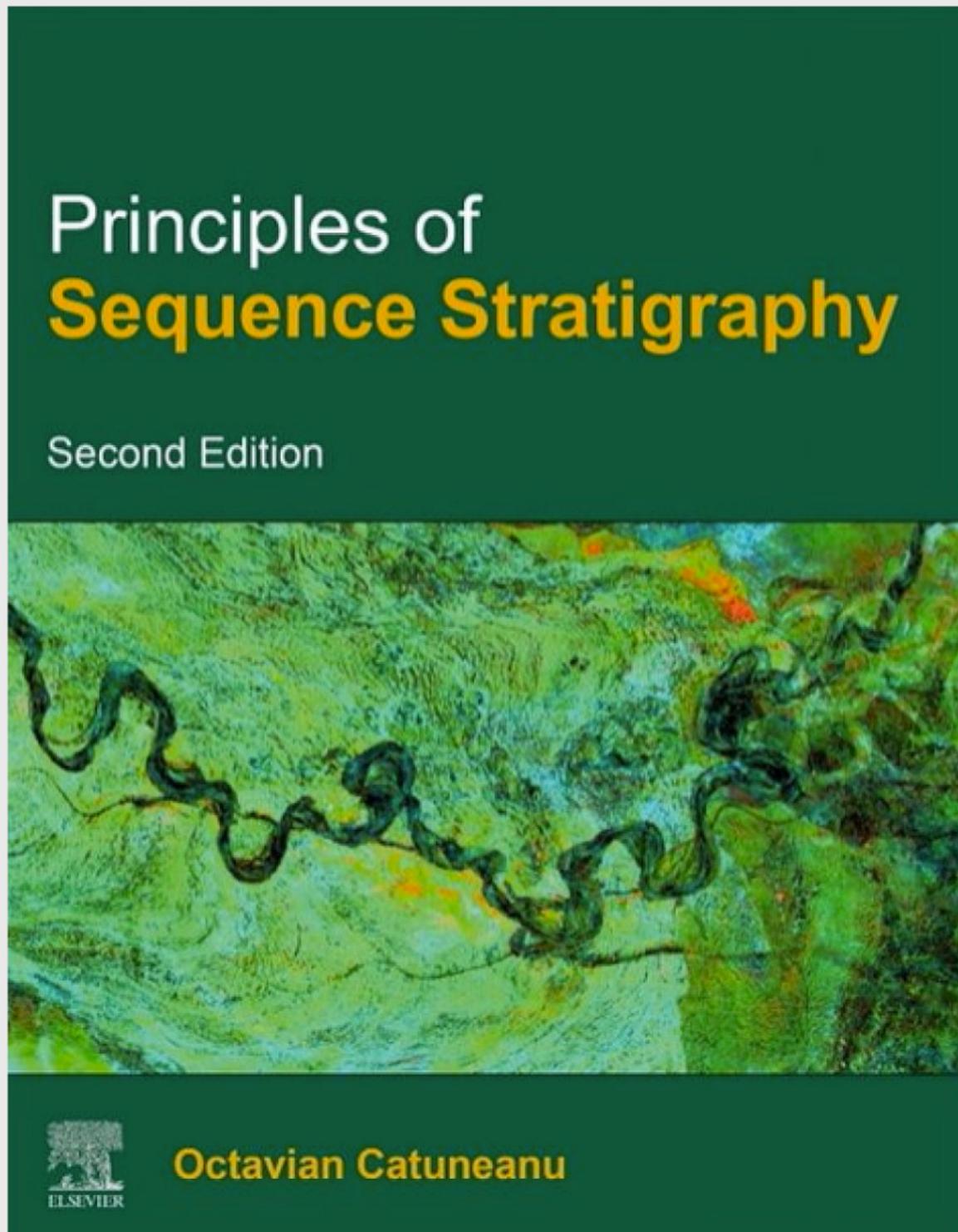
## El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Atlas-Trace-Fossils-Well-Core/dp/3319498363>



## El libro recomendado

<https://www.elsevier.com/books/principles-of-sequence-stratigraphy/catuneanu/978-0-444-53353-1>



# TEMAS DE INTERÉS

## The Resistance to Extreme Geology

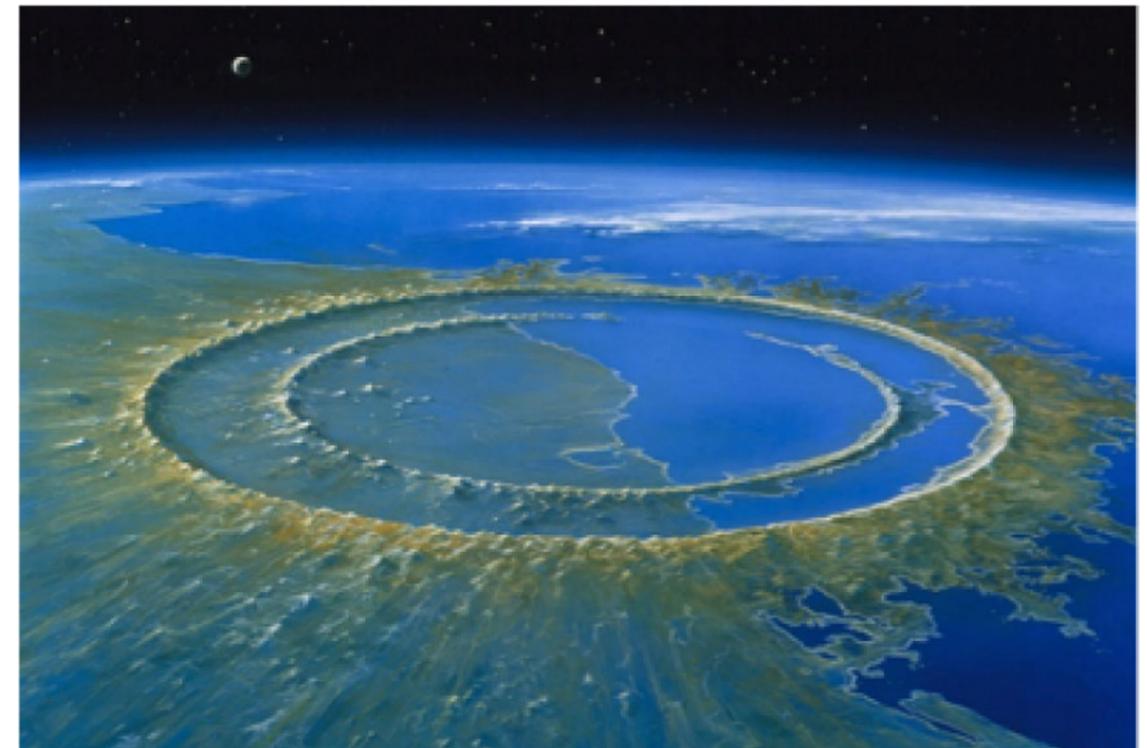
Jon Blickwede

Colaborador de la Revista

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

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

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



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

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

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

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

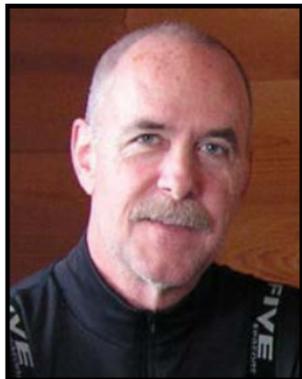
#### Bibliography

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

## Acuerdo de París

Compilado por:

**E.P Saúl Humberto Ricardez Medina**

Colaborador de la Revista

El 12 de diciembre de 2015, 195 países llegaron a un acuerdo sobre un nuevo tratado en contra del climático llamado el acuerdo de París. El acuerdo de París representó un notable giro en las negociaciones de cambio climático patrocinadas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Después de los acuerdos realizados en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC o UNFCCC por sus siglas en inglés) en 1992, se estableció el objetivo de prevenir el peligroso cambio climático producido por el hombre mediante la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, la comunidad internacional paso más de dos décadas negociando normas jurídicamente vinculantes sobre como controlar las emisiones globales. Pero a pesar de la creación del Protocolo de Kioto en 1998 e instrumentos como el mecanismo de desarrollo limpio, las emisiones de los principales GEI (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) aumentaron de manera sostenida durante este último periodo. Posteriormente se llevó a cabo la conferencia de Copenhague de 2009, que pretendía crear un tratado sucesor más efectivo que el del protocolo de Kioto, fracaso rotundamente a lo que llevo muchos espectadores a concluir que la diplomacia climática había llegado a un callejón sin salida.

La Conferencia de las partes 21 (COP-21 por sus siglas en inglés) puso fin a mas de 20 años de negociaciones de la ONU centradas en un enfoque erróneo de establecer reducciones de emisiones de manera obligatoria. En cambio, el acuerdo de París reconoce la primacía de la política interna en el cambio climático y permite que los países establezcan su propio nivel de ambición para la mitigación del cambio climático, esta crea un marco para hacer compromisos de forma voluntaria que pueden compararse y revisarse internacionalmente, con la esperanza de que la ambición global pueda aumentar a través de un proceso de "nombrar y avergonzar" al eludir los problemas de distribución relacionados a las negociaciones posteriores al protocolo de Kioto.

El acuerdo de París logra eliminar una de los mayores obstáculos para la cooperación climática internacional al poner medidas mas flexibles al reconocer que ninguna de las principales potencias pueden verse obligadas a realizar recortes drásticos de emisiones. En este sentido, la cumbre climática de París anuncia el comienzo de una nueva era en la política climática internacional, que ofrece la oportunidad de una cooperación internacional más duradera. Si bien el Acuerdo de París establece un enfoque más realista para la cooperación internacional en la mitigación del cambio climático, no está nada claro si realmente puede cumplir con la necesidad urgente de descarbonizar la economía global. Según el análisis de la Secretaría de la CMNUCC, las promesas de políticas climáticas nacionales presentadas en el período previo a la conferencia de París darían como resultado un calentamiento global de 2,7 °C por encima de los niveles preindustriales, y esta estimación se basa en la suposición optimista de que todos los países las promesas se cumplirán plenamente.

#### Bibliografía

United Nations. (s/n). The Paris Agreement. marzo 27, 2022, de United Nations Sitio web: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>

United Nations Climate Change. (s/n). The Paris Agreement. marzo 27, 2022, de United Nations Climate Change Sitio web: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Radar Climático América Latina. (diciembre 30, 2015). INFOGRAFÍA: Las 10 claves del Acuerdo de París sobre el cambio climático. marzo 28, 2022, de CONEXIÓN COP Sitio web: <https://conexioncop.com/infografia-las-10-claves-del-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/>

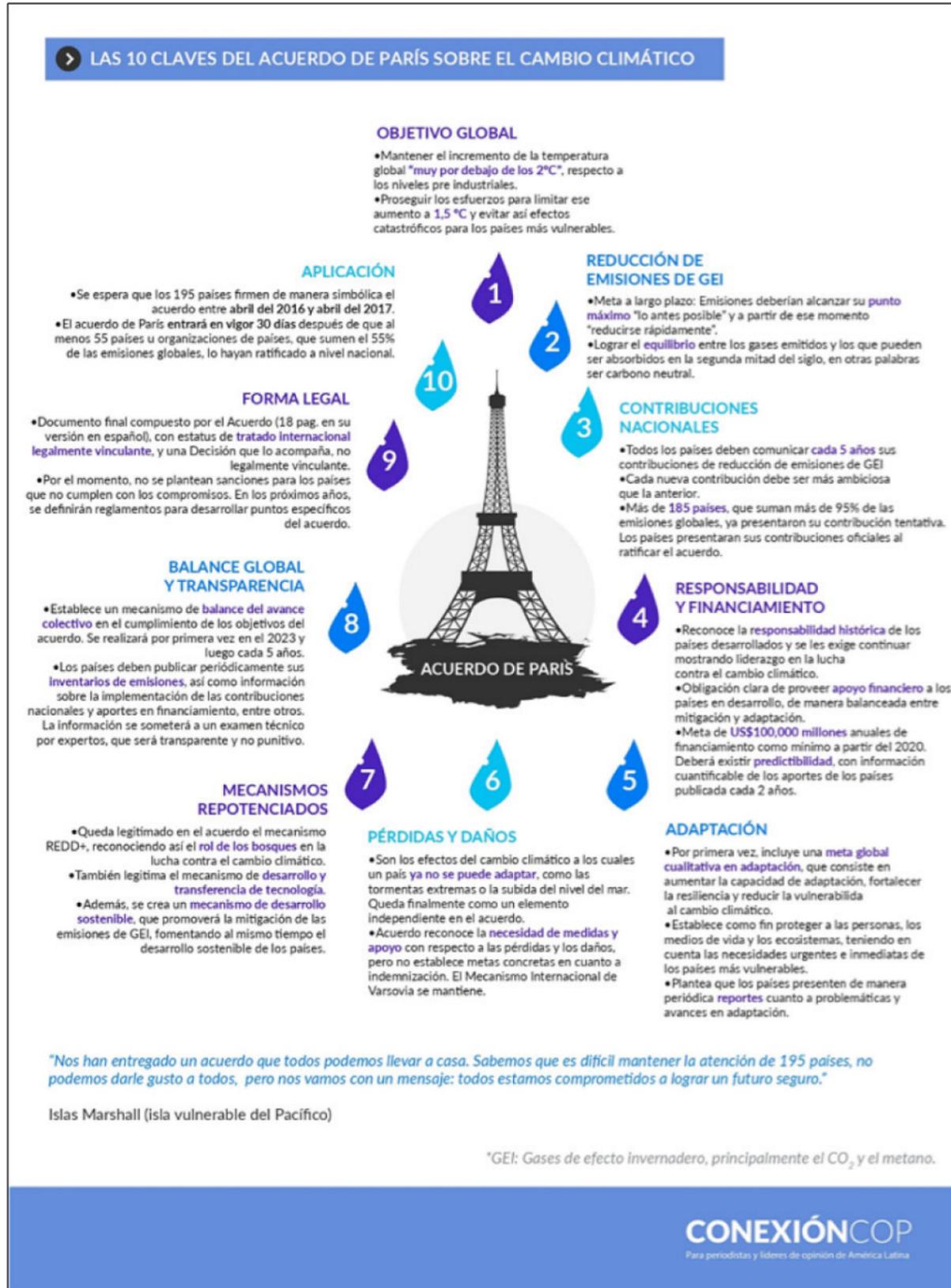


Figura 1. Tomado de: Radar Climático América Latina. (diciembre 30, 2015).

## El papel de las geociencias en la solución a la crisis del cambio climático

Moisés Dávila S.

Facultad de Ingeniería, UNAM

Los profesionistas en geociencias tenemos una posición privilegiada respecto del entendimiento de la decadencia ambiental en que tenemos al planeta. La naturaleza de nuestra formación nos permite comprender la interrelación que existe entre los diferentes sistemas globales animados e inanimados que lo componen.

Los contenidos curriculares de nuestras respectivas universidades nos enseñaron que el carbono tiene un apetito importante por el oxígeno diatómico, y lo reclama para sí, aferrándose con un enlace covalente difícil de romper si no es a costa de una inversión importante de energía. Esto sucede desde que el mencionado oxígeno diatómico comenzó a producirse en el planeta, primigeniamente por las cianobacterias y poco después por la fotosíntesis de los organismos vegetales, lo cual ha acontecido a lo largo de la segunda mitad de su historia,

El bióxido de carbono forma un papel muy importante en el ciclo del carbono, elemento imprescindible para la vida orgánica en la Tierra. El carbono se recicla de dos formas; de manera lenta conocida como ciclo lento del carbono o geológico y otro más rápido o biológico. En el primero deben darse tiempos de escala geológica pues el elemento carbono se integra a ciclos de formación, acumulación y destrucción de rocas y de manera muy en particular de los combustibles fósiles. Mientras que en la parte del ciclo biológico o rápido, intervienen de manera fundamental la respiración de los animales y la fotosíntesis en las plantas.

El bióxido de carbono en particular se ha convertido en un elemento mediático estelar de la vida moderna, desafortunadamente no para bien. Los geocientíficos y especialistas del cambio climático pueden entender con bases, que el anhídrido carbónico, ha pasado a ser un villano en los temas medioambientales por una causa conceptualmente simple: hemos intervenido y alterado críticamente sus ciclos tanto el rápido como el lento, intercambiando sus roles. Extraemos carbón e hidrocarburos que fueron secuestrados mediante procesos lentos de forma segura geológicamente y ahora los desenterramos, los quemamos en exceso y sus gases de combustión que se integran a la atmósfera, deber ser procesados por los procesos biológicos o rápidos. El problema es que el ritmo de emisión que hemos alcanzado es muy superior al que tienen los sistemas naturales – bosques, selvas y océanos – para reciclarlos.

En abono al bióxido de carbono, al cual hemos dado el carácter de villano injustamente, no podemos dejar de mencionar que es gracias a él, al igual que otros gases de efecto invernadero, que la temperatura del planeta es tal, que ha permitido la existencia de seres vivos en la Tierra. Sin los gases de efecto invernadero el planeta sería un enorme globo helado de

menos quince grados centígrados en promedio en donde la vida difícilmente hubiera florecido. Los gases de efecto invernadero deben, en su justa proporción, ser vistos como el escudo que blindo el planeta de la radiación solar y constituye el delgado y delicado aislamiento térmico que nos permite habitarlo.

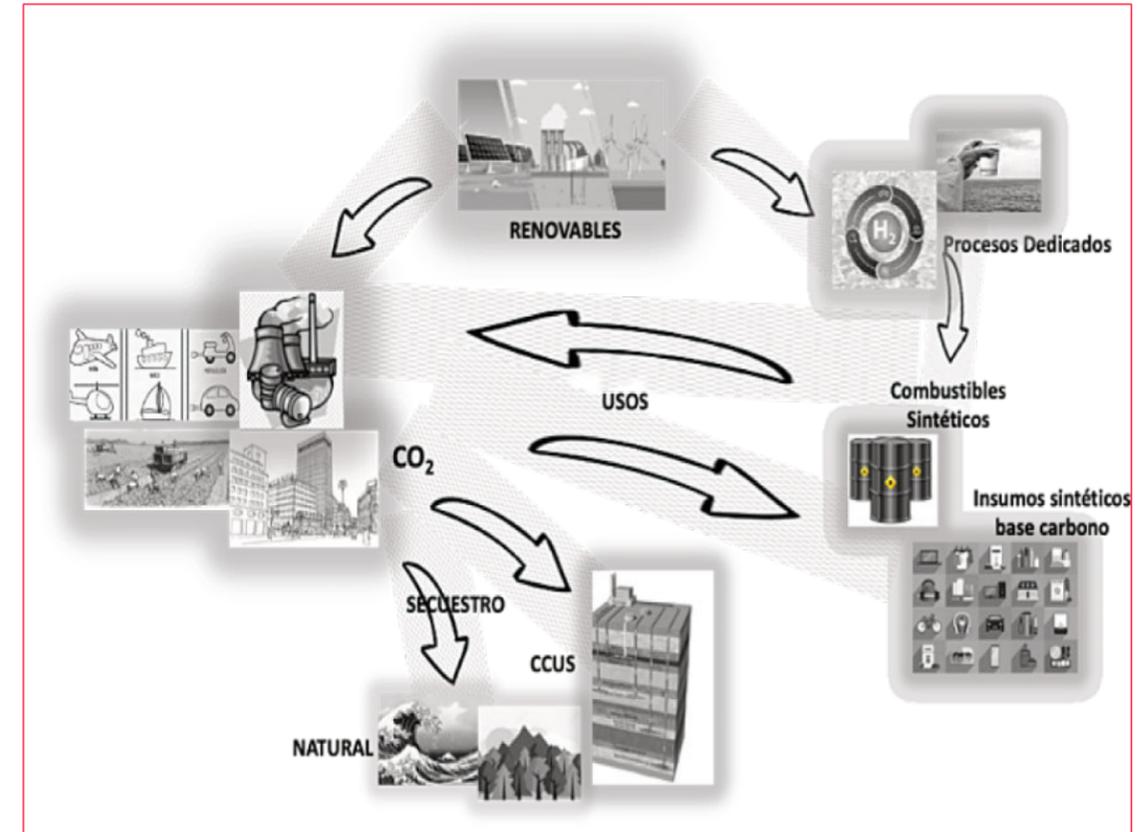
Impedir la sexta gran extinción global, demanda que los geocientíficos tomemos un papel menos pasivo y aceptemos éticamente hacer uso del entendimiento que tenemos de la dinámica global, ayudando a que la sociedad comprenda y conozca qué partes son positivas y cuales no de los gases de efecto invernadero. El bióxido de carbono en sí mismo no es culpable del cambio climático, sino la especie humana que ha alterado sus ciclos y ritmos naturales bajo los cuales todo sería diferente, para bien. Pero no todo está perdido, de hecho, la solución es conceptualmente sencilla: transitar de una Economía del Carbono a una de Economía Circular del Carbono.

En términos muy simples esta transición consiste en abandonar lo antes posible el consumo indiscriminado de bienes y servicios de un solo uso, sobre todo, de aquellos productos elaborados de carbono o de los servicios cuya prestación demande consumos energéticos basados en combustibles fósiles. Posteriormente, habremos de comprometer a la sociedad en asumir el compromiso que obligue un cambio tecnológico temporal, durante tres o cuatro generaciones en el que se abandone el uso de bienes que ahora provienen de la petroquímica y por lo tanto de los hidrocarburos, y se adopte la nueva cultura de fabricarlos de CO<sub>2</sub> antropogénico.

No hay que olvidar que las cadenas orgánicas de la mayor parte de los compuestos que son básicos en la industria, y que nacen de la petroquímica, requieren también de hidrógeno, tal es el caso de los plásticos, los medicamentos y los fertilizantes por mencionar sólo algunos. Al ser el hidrogeno un elemento que requiere de energía para su síntesis a partir del agua o del metano, sobre todo, resulta oportuno pensar en el uso de las energías renovables para salvar tal aspecto. Aunque las energías renovables, sobre todo la eólica y a fotovoltaica están llamadas a sostener gran parte del abasto energético del futuro, al menos hasta antes del apogeo del hidrógeno, por ahora siguen teniendo el inconveniente de la intermitencia. Pero si se les piensa integradas a sistemas dedicados a la producción de insumos clave como el hidrógeno, podrían soportar al menos transicionalmente el paso de sustituir la petroquímica convencional a una de uso masivo de hidrógeno y CO<sub>2</sub> antropogénico.

Por anticipado queda que el CO<sub>2</sub> antropogénico seguiría siendo emitido a un ritmo superior al que podría ser utilizado como materia prima del carbono, hasta ahora proveniente de los hidrocarburos, por lo que continuaría habiendo un superávit de CO<sub>2</sub>. En ese caso, se cuenta con la tecnología probada y segura de la Captura y Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub>, que en términos coloquiales toma el CO<sub>2</sub> de las fuentes industriales como producto de la quema de combustibles fósiles y la guarda en el espacio poroso de formaciones geológicas en donde paulatinamente se irá integrando el ciclo lento del carbono y no volverá a la biósfera en tiempos humanos.

La propuesta que se ha tratado de describir en los párrafos anteriores se conoce como Economía Circular del Carbono y se postula conceptualmente como una posible estrategia integral para regresarle viabilidad a la vida futura en el planeta. La figura siguiente trata de esquematizarla de forma muy sencilla.



Esquema simplificado del Concepto de Economía Circular del Carbono.

Modificado de "Es necesario hacer las paces con el CO<sub>2</sub>". Observatorio Ciudadano de la Energía. Junio 2021.

### Dr. Moisés Dávila Serrano



[linkedin.com/in/mois-es-davila-6155b8a3](https://www.linkedin.com/in/mois-es-davila-6155b8a3)

<https://www.issmge.org/uploads/publications/84/85/14-06-mois-es-davila-serrano.pdf>

Cuenta con más de 40 años de experiencia en estudios de ingeniería geológica.

Es ingeniero geólogo con maestría en ingeniería y doctorado en ciencias.

Hasta 2013 fue Subgerente de Exploración Geológica en la Comisión Federal de Electricidad, en donde laboró por 33 años y realizó y condujo múltiples estudios con enfoque en la ingeniería geológica aplicada a la construcción.

Es autor de los libros: Geología Aplicada a la Construcción de Infraestructura y Geología Ambiental.

Es socio fundador y secretario de la Fundación Pro Ciencias de la Tierra. En la Academia de Ingeniería es Académico Titular desde 2011, en donde presidió la Comisión de Especialidad de Ingeniería Geológica durante el biénio 2016 -2018.

De 2013 a 2014 fue Líder de la Iniciativa de Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en el Gobierno de México.

Es catedrático de la asignatura de Geología Aplicada a la Ingeniería Civil en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Actualmente es Consultor Independiente en Ingeniería Geológica y Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub>.

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

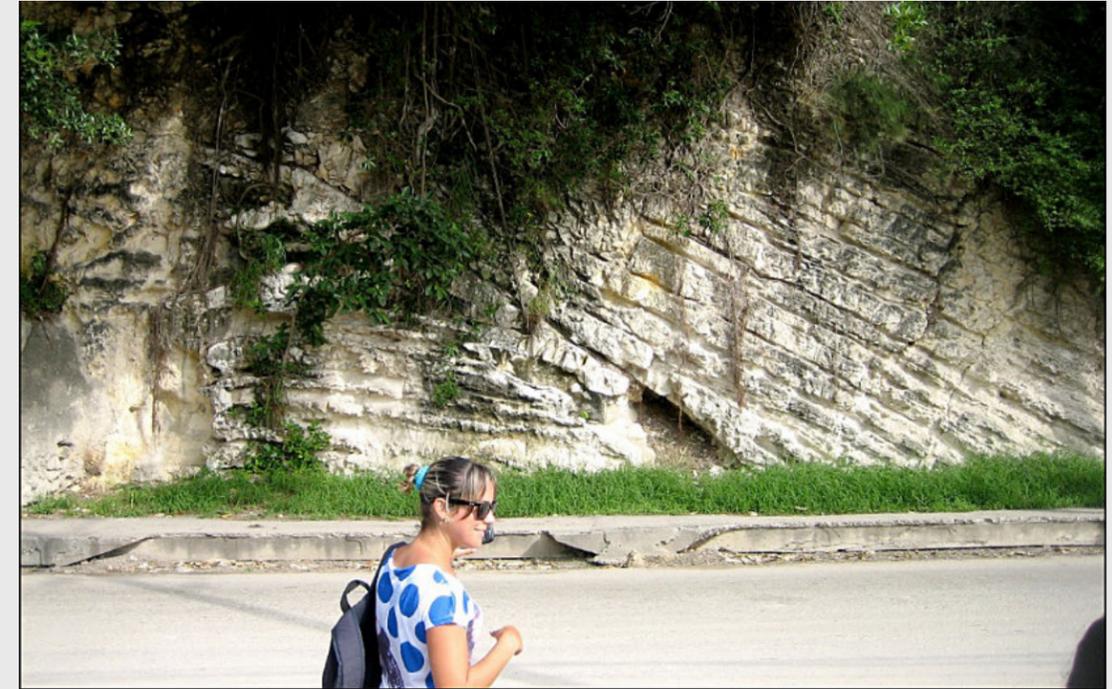
Nuestras prácticas de geológicas de campo tienen lugar en el tercer año de la carrera bajo la dirección de los **profesores Rolando García Sánchez y Guillermo Pérez Vázquez** en los alrededores de La Habana, donde existen interesantes afloramientos que compartimos con Ustedes. **Alumna Bárbara Nodarse**,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



Calizas coralinas del Pleistoceno, flanco derecho Bahía de Cojímar.



Areniscas del Pleistoceno superior de la Formación Guanabo en estratificación cruzada de al sur del poblado homónimo



Margas y calizas de la Formación Cojímar del Mioceno inferior-medio mostrando una falla, Corte al este de la ciudad de La Habana



Calcarenitas muy fracturadas de la Formación Peñalver (Maastrichtiano) en el poblado Mangos de Peñalver, el sur este de la Ciudad de la Habana



Calcarenitas estratificadas de la Formación Peñalver (Maastrichtiano) al sur del poblado las Minas, el sur de Guanabo, al este de La Habana



Serpentinitas en uno de los cortes a lo largo de la autopista que une a la Habana con la vecina provincia de Matanzas



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](mailto:ricardezmedinasaulhumberto@gmail.com)

quien está a cargo de organizar esta información.

# NOTAS GEOLÓGICAS

## Quantitative petrographic analysis in thin section images using supervised classification machine learning

Caja<sup>1</sup>, M.A., Tritlla<sup>2</sup>, J.

1. Repsol Technology Lab. Agustin de Betancourt, s/n. 28935 Móstoles, Madrid, Spain. [miguelangel.caja@repsol.com](mailto:miguelangel.caja@repsol.com)
2. Gemix / Independent Consultant, 17490 Llançà, Girona, Catalonia (Spain) [jtritlla@gmail.com](mailto:jtritlla@gmail.com)

Key words:

Petrography, classification, quantification, thin section images, machine learning, pre-salt carbonates

Petrographic analysis of thin sections in oil and gas exploration wells represents a crucial source of geological knowledge from subsurface. Petrographic analysis provides qualitative observations on mineralogy, texture, diagenetic features, porosity origin and evolution, etc. However, quantitative analysis is commonly limited to mineral percentages assessment using comparison charts for visual estimation, and manual point-counting, using expensive mechanical stages, in very few cases. Point-counting is subjected to petrographer's experience, results can be biased and it is very time-consuming. Since recently, fast automatic mineral quantification, including textural and grain-size information, was only possible using expensive electronic microscopy equipment (QEMSCAN, f.i.). For these reasons, this study explores the use of machine learning supervised classification techniques applied to thin section images in order to perform fast quantitative petrographic analysis at low cost and no time-consuming (Caja et al, 2019). To achieve this goal, we used a series of high-quality thin sections obtained from a South-Atlantic exploration well drilled in pre-salt carbonate reservoirs (Tritlla et al, 2018).

A total of 134 Side Wall Core rock samples (1 inch in diameter) were cut, impregnated with blue dyed epoxy resin and prepared for petrographic thin sections with final high-quality (metallographic grade) polishing. Automatic high-resolution thin section scans were performed with a Zeiss Axio Scan.Z1 whole slide image scanner under plane polarized light illumination and 10X magnification. The obtained whole thin section images were gigapixel images (i.e. multi resolution image pyramids) with a maximum resolution of 0.44 microns per pixel.

The petrographic study of the thin sections allowed the definition of five main categories (Figure 1):

- 1) *Depositional carbonates*, corresponding mainly to "in-situ growths" and reworked microbial shrubs and spheruliths including large shrubs, small shrubs, bands or layers of spheruliths.
- 2) *Clays*, mainly identified as fine-grained talc-stevensite-kerolite, silty, argillaceous and carbonate mud.
- 3) *Carbonate and silica cements*; "Carbonate cement" corresponds to calcite and dolomite. "Silica cement" presents different textures and generations, mainly opal, chalcedony and megaquartz, being all of them grouped under a unique category.
- 4) *Bitumen*, present-day solid hydrocarbons impregnating the rock.
- 5) *Porosity*, is mainly interparticle, intraparticle, vuggy and intercrystalline.

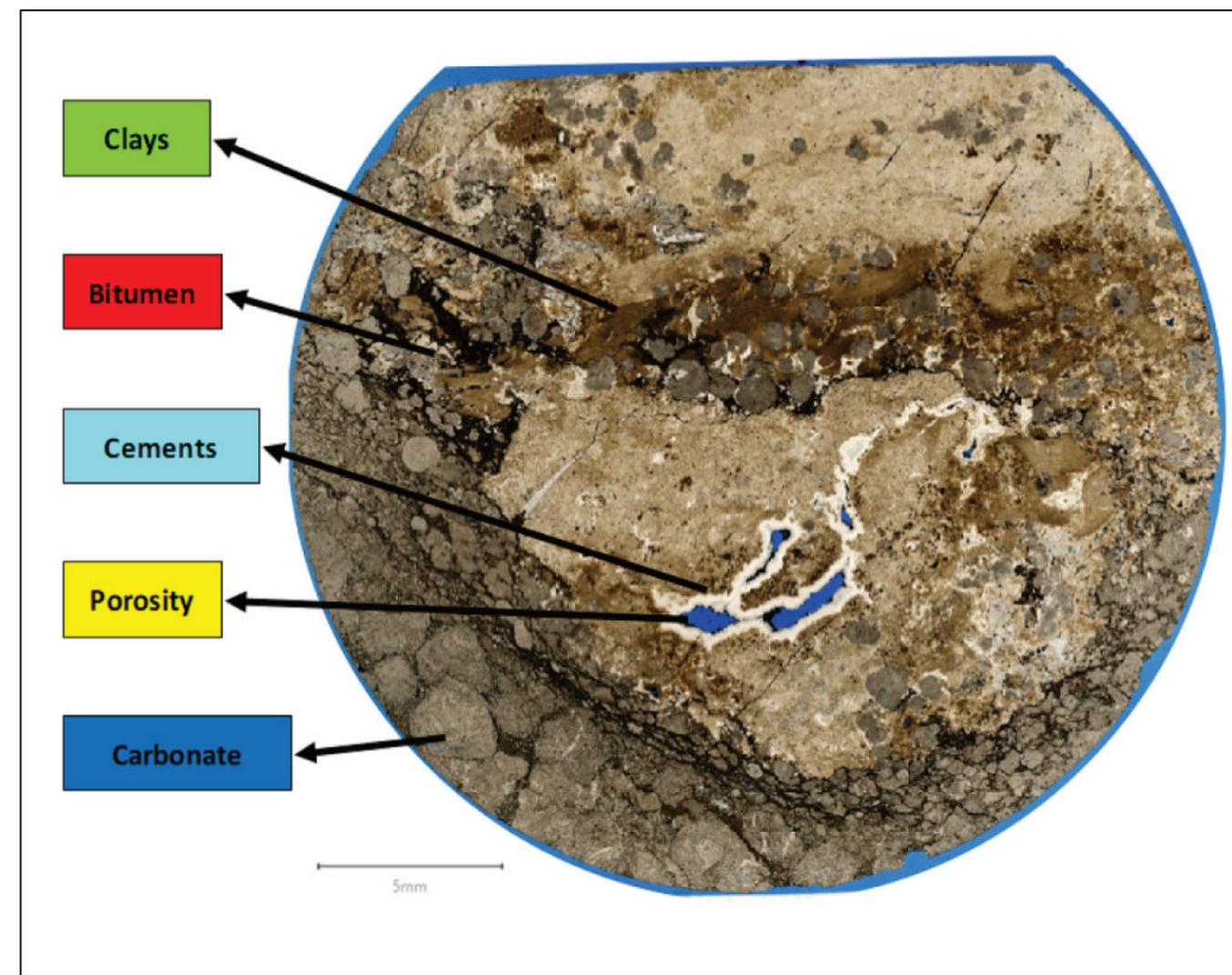


Figure 1. Example of one scanned whole thin section from the studied well, prepared from one inch diameter Side Wall Core rock, with identification of the five categories differentiated.

An open-source software (ORBIT Image Analysis; Stritt et al, 2020) was carefully selected to perform a whole thin section image analysis using machine learning based classification through multi-resolution image pyramids. A Support Vector Machine (SVM) based classifier was used for pixel classification based on multivariate intensity and structural input parameters. Training data was generated by manually drawing several representative annotations per defined category after careful petrographic examination. The classification step then worked automatically: the features for each pixel of each category were computed and the SVM outputs the corresponding category class.

The obtained results (Figure 2) show the classification and quantification of the five categories selected: depositional carbonates, clays, porosity, carbonate and silica cements, and bitumen. One direct conclusion is the general abundance of cements and the presence of scattered highly cemented samples as well. The porosity trend is also fully captured as the samples with relatively highest porosities are easily identified and its relationship with bitumen abundances is also revealed. Finally, clays abundance is exposed, being more abundant in the shallower part of the well.

The obtained classifications were visually evaluated for each thin section image (Figure 3). One of the main misclassifications detected is silica cement, occasionally overestimated, so we decided to include both cements in a single category. The overall quantification results for the defined categories are representative for each sample.

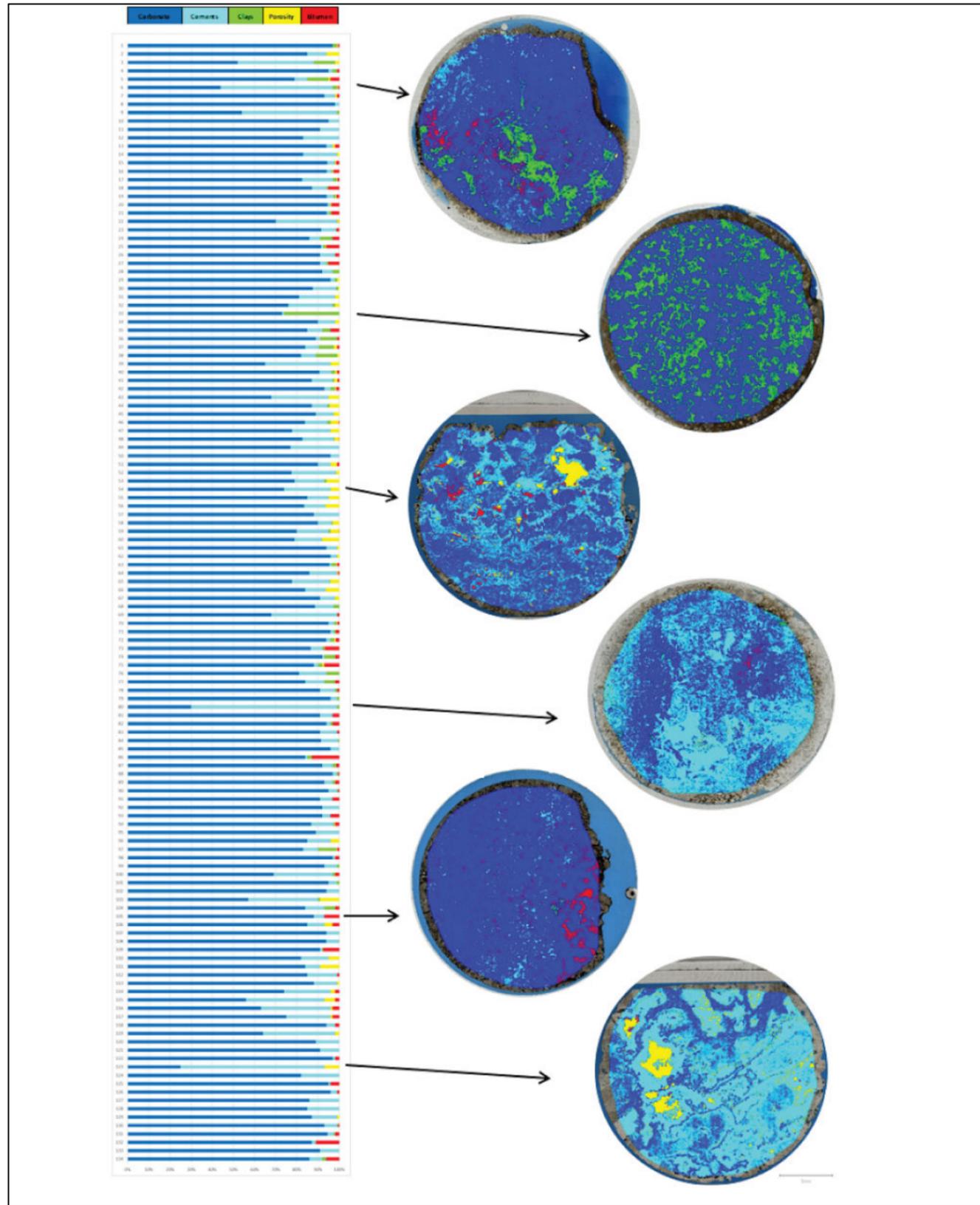


Figure 2. Results of the machine learning supervised classification in thin section images in an exploration well.

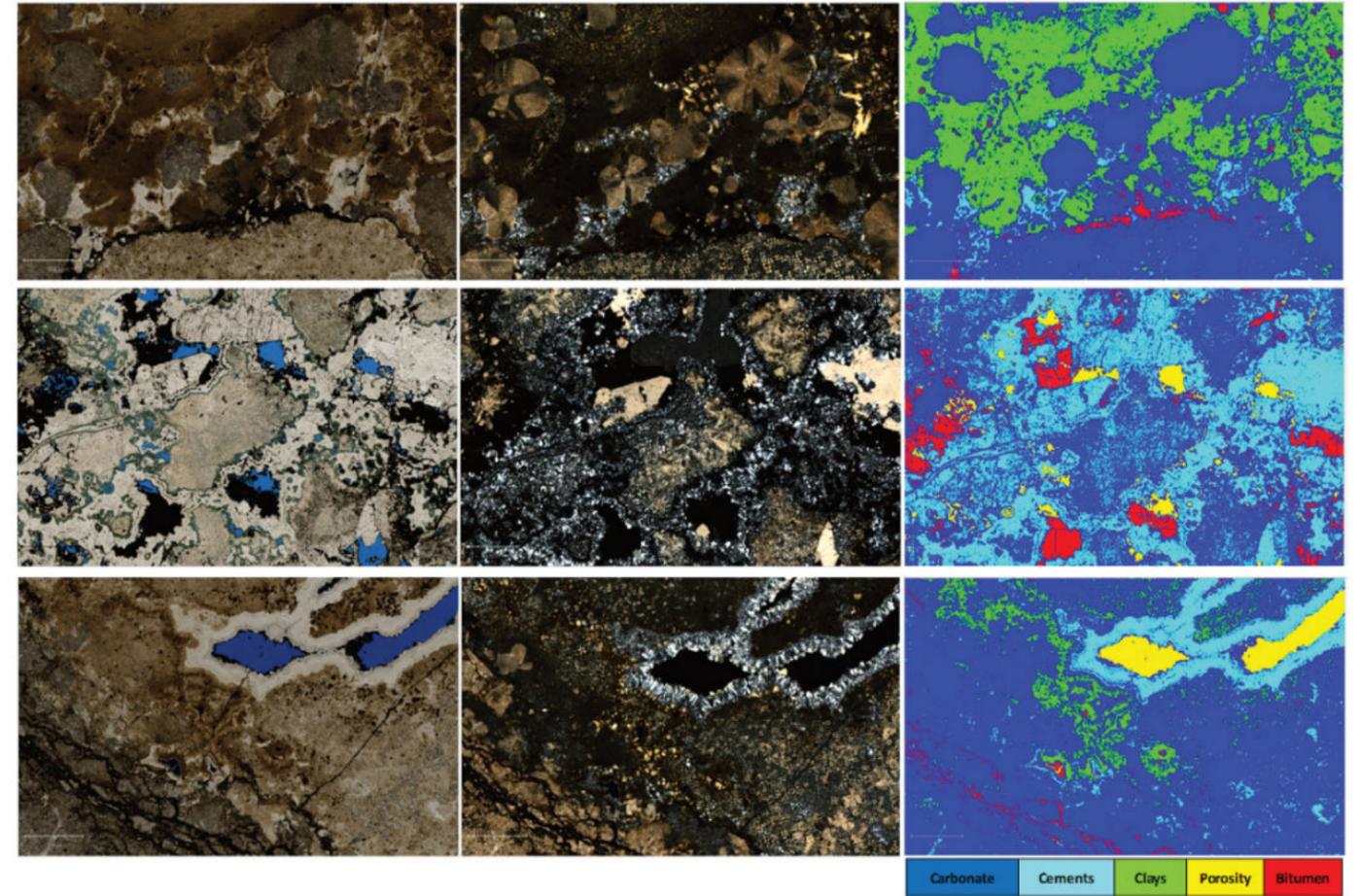


Figure 3. Selected examples of the visual comparison of the obtained classifications using the supervised machine learning algorithm: left column correspond to plane-polarized Light images, middle column to cross-polarized light and right column to the obtained classification (distribution map).

### Conclusions

In conclusion, the generated machine learning model was applied to a set of 134 thin section images performing a supervised classification of five defined petrographical categories. This allowed to obtain quantitative petrographic data in a very reduced time (overnight process) for a relatively large set of thin sections without introducing petrographer's experience bias. The next step consists to validate the performed visual evaluation with quantitative results obtained using other independent techniques (e.g. point-counting, QEMSCAN).

Future work must be focused in the scalability of the generated machine learning model to other wells in the same geological context to prove if categories can be classified and quantified correctly or if the model need re-training with samples from new wells.

## References

Caja, M. A., Peña, A. C., Campos, J. R., García Diego, L., Tritlla, J., Bover-Arnal, T., & Martín-Martín, J. D. (2019): Image Processing and Machine Learning Applied to Lithology Identification, Classification and Quantification of Thin Section Cutting Samples. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 8pp.

Stritt M, Stalder AK, Vezzali E (2020): Orbit Image Analysis: An open-source whole slide image analysis tool. PLoS Comput Biol 16(2):e1007313

Tritlla, J.; Esteban, M.; Loma, R.; Mattos, A.; Sánchez, V.; Boix, C.; Viera Da Luca, P.H.; Carballo, J.; Levresse, G. (2018): Carbonates That Are No More: Silicified Pre-Salt Oil Reservoirs in Campos Basin (Brazil). AAPG ACE 2018, Salt Lake City, Utah, USA. AAPG Datapages/Search and Discovery Article #90323.



**Miguel Ángel Caja Rodríguez** (Ph.D.)

Senior Geologist - E&P Technology Product Leader, Repsol Technology  
Madrid, Spain

Miguel Ángel Caja received his Ph.D. in petrology and diagenesis from Complutense University of Madrid and postdoctoral fellowship from Barcelona University. He is a geoscientist and researcher with +15 years of experience in the field of clastic and carbonate diagenesis linked to reservoir quality evolution.

At Repsol he has spent the last several years setting up and implementing laboratories supporting E&P analytical needs (petrology, diagenesis, inorganic geochemistry, rock physics,...) with special focus in adding value.

Recently, he started to lead E&P Repsol Technology Products development following agile methodologies, using the latest technical advances supporting the new challenges of O&G industry and shortening the E&P cycle.

Linkedin: [www.linkedin.com/in/miguelangelcaja](http://www.linkedin.com/in/miguelangelcaja)

Research Gate: [www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Caja](http://www.researchgate.net/profile/Miguel-Angel-Caja)



**Jordi Tritlla Cambra** (Ph.D.) is a senior geology and geochemistry consultant, with 35 years of experience.

Dr. Tritlla obtained his Ph.D. in 1994 at the Autonomous University of Barcelona (UAB, Spain) and a MsC on hydrogeology (Curso Internacional de Hidrología Subterránea) at the UPC-FCIHS (1998). His working experience include Senior Consultant at Repsol Exploration (Madrid, Spain); Research Scientist at Instituto de Geología / Centro de Geociencias (UNAM, México); Invited Professor at Université Henry Poincaré (now Université de Lorraine, Nancy, France); Research Fellow at the School of Earth and Environment (Leeds University, UK) and Assistant Professor at the University of Barcelona (Spain).

He has a broad experience in the study of ore deposits (MVT, SEDEX, VMS, IOCG, Skarns, Hg-Sb, ophiolites) and geofluids (oil, gas, brines), including paleofluid PVTx reconstruction (compressional and extensional settings); geothermal systems; and origin an occurrence of native hydrogen. During the last 11 years he has been mostly focused to study the pre-salt microbial carbonates off-shore Brazil and Angola, and their possible analogs worldwide.

Email: [gemix.earth@gmail.com](mailto:gemix.earth@gmail.com)

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

Researchgate : <https://www.researchgate.net/profile/Jordi-Tritlla>

## Metales Pesados: De las Estrellas a su Mesa

**Alejandro Carrillo-Chávez\***, **Carolina Muñoz Torres**

Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, 76230 México

\*Correo electrónico: [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)

### Resumen

Los modelos astronómicos modernos indican que los metales pesados se forman en los núcleos de estrellas gigantes, en explosiones de supernovas y en colisiones de estrellas de neutrones. El polvo cósmico expulsado de esas explosiones forma nebulosas planetarias que inician un proceso de acreción, formación de nuevas estrellas y discos proto-planetarios que formarán, en parte, planetas rocosos con núcleos metálicos. Nuestro planeta Tierra se estratificó en un núcleo metálico (Hierro y Níquel básicamente, pero con muchos otros metales en menores concentraciones), un manto rocoso rico en Fe, Al, Mg, O y Si y una corteza rocosa rica en Al, Fe, Si, O, Ca, Na. La diferencia de densidades y flujo calorífico generó una tectónica de placas que, mediante procesos geoquímicos transporta metales desde el manto y hasta la corteza terrestre, donde se acumulan en yacimientos minerales metálicos. El desarrollo histórico, la industria y economía moderna de la humanidad se basan en gran parte en la extracción y proceso de metales. Actualmente dependemos en un gran porcentaje de los metales pesados para nuestra vida diaria, por ejemplo, algunos metales pesados son elementos traza esenciales en procesos metabólicos de plantas, animales y de nosotros mismos. La extracción sin control de los metales, ha alterado ciclos y concentraciones naturales de estos en el medio ambiente (agua, suelo y aire). Consecuentemente ha habido graves casos de desastres antropogénicos de contaminación por metales pesados. La geoquímica médica es una línea de investigación relativamente nueva que investiga los efectos positivos y negativos de metales pesados en nuestra dieta diaria. Se sabe que algunos metales pesados son necesarios en nuestros alimentos para tener una plena salud física y mental. Literalmente los metales pesados se forman en las estrellas y los disfrutamos en nuestra mesa.

### Introducción

Registros históricos indican que hace unos 6,000 años el ser humano ya sabía trabajar algunos metales; primero utilizó el cobre (Edad del Cobre), después descubrió estaño

y que combinándolo con cobre se obtenía un metal superior en calidad, el bronce (Edad del Bronce) y posteriormente utilizó ampliamente el hierro (Edad del Hierro), y en menor escala, pero muy apreciados y valorados, también aprendió a extraer y trabajar el oro y la plata. Relatos bíblicos, y de otros libros antiguos, indican que el oro y la plata se trabajan muy bien hace 4,000 años. Desde hace unos 500 años antes de la era común (ac) y hasta los 1,700 de nuestra era, la química antigua, o alquimia, descubrió otros elementos y se empezaron a hacer experimentos y compuestos con ideas de transformar elementos, intentos frustrados de transmutaciones a oro. Pero no fue sino hasta mediados de 1,700's que Antonio Lavoisier funda las bases de la química moderna, con experimentos bien desarrollados, para conocer compuestos y aislar elementos. A mediados y finales de 1,800's Dmitri Mendeléyev realiza una categorización y agrupación de los elementos conocidos en ese tiempo por medio de características químicas similares. Una verdadera obra maestra, que en la educación media nos enseñan, la famosa Tabla Periódica de los Elementos, ahora completa con elementos que no conoció Mendeléyev, pero que de alguna manera predijo algunas de sus propiedades químicas. Durante miles de años, cobre, bronce y hierro se utilizaron para la industria bélica (lanzas, espadas, flechas, escudos, armaduras, etc) y para herramientas básicas (hachas, arados, etc.) Pero, no fue sino hasta el inicio de la Revolución Industrial en Europa (1760-1840) que se empieza a dar un uso industrial a los metales transformándolos en máquinas, calderas, pistones, rieles de ferrocarril, máquinas de vapor, etc. Es decir, el nacimiento de la industria de la transformación de metales y aleaciones. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX (1880 – 1910) esta industria se acelera de manera impresionante con el uso de petróleo y derivados como combustible y lubricantes para mover motores de todos los tamaños, desde motores pequeños para motocicletas hasta motores enormes de barcos, trenes y aviones. Todo esto motivado, básica y lamentablemente, por los conflictos bélicos. A la fecha, 2022 toda la actividad industrial, agrícola, extracción, construcción, comunicaciones, etc., del ser humano depende de los recursos naturales de la Tierra, principalmente de los metales. Un ejemplo lo tenemos en nuestras manos, un teléfono celular o tableta o una computadora moderna, que contienen en sus componentes unos 70 a 75 elementos, de los cuales unos 60 a 68 son metales. Lamentablemente, muchos de los conflictos bélicos en este tiempo son para controlar algún territorio rico en algunos metales muy bien valorados por la industria moderna. Este artículo tiene por objetivo presentar una breve descripción sobre: 1) los procesos astro-químicos, como la nucleosíntesis, para explicar la formación de los

metales pesados en estrellas de diferente tipo; 2) describir como se acumularon metales pesados en polvo cósmico (quizás material reciclado de varios ciclos estelares de formación y explosión de estrellas), y como este polvo formo un sistema planetario (una estrella central, planetas rocosos y gaseosos, y cuerpos mas pequeños rocosos, metálicos, de hielo, etc., orbitando la estrella); 3) como se han acumulado estos metales en nuestro planeta Tierra; 4) como explotamos y usamos los metales en la sociedad moderna; 5) como hemos creado un des-balance en las contracciones normales de metales en agua, suelo y aire (contaminación ambiental por metales); y 6) como algunos metales son parte del metabolismo vegetal, animal y humano (elementos traza esenciales en nuestro cuerpo), y como un exceso o déficit de metales en agua y alimentos puede causar graves problemas de salud. Literalmente haremos un recorrido desde las Estrellas y hasta su Mesa.

### Estrellas Formadoras de Metales – Procesos de Nucleosíntesis

Las estrellas son las verdaderas fábricas de todos los elementos que hay en nuestro planeta. De hecho, un caso interesante es el Helio, un gas raro no muy abundante en la tierra, pero que fue descubierto en el Sol, nuestra estrella, en 1868. Desde entonces se descubrieron principalmente Hidrógeno (92%), Helio (7.8 %), Oxígeno (0.061%); Carbono (0.03%), Nitrógeno (0.0084%), y pequeñas trazas de Neón, Fierro, Azufre, Magnesio y Sílice en el Sol, nuestra estrella. Estos descubrimientos se realizaron gracias a técnicas de espectroscopia y espectrometría, técnicas que analizan y miden el color o el espectro que genera un elemento bajo ciertas condiciones. Mediante esas técnicas, ahora sabemos que la composición química promedio del universo que nos rodea es de: Hidrógeno en un 74%, Helio en un 24% y todo los demás 90 elementos naturales solo un 2%.

Por otro lado, nuestro planeta Tierra tiene la siguiente composición promedio: Fe 32%, Oxígeno 32%, Sílice 15%, Magnesio 14%, Azufre 3%, y el resto de todos los demás elementos de la tabla periódica solo un 3%. Una simple comparación entre la composición química del Sol, el Universo y la Tierra, indica que la Tierra es una verdadera anomalía química en el Universo. Es decir, la composición química de la Tierra es muy diferente a todo el universo, y a excepción del Fe y Mg, no se ha detectado ningún otro metal en el Sol, de los que existen en nuestro planeta y usamos en nuestra vida diaria. Las preguntas, por tanto, son; ¿Como se forman los metales en el universo?, y ¿como se acumularon de manera anómala los metales en nuestro planeta, la Tierra?

La astroquímica es una ciencia compuesta por la química, astronomía y física. Trabaja con modelos\* de “nucleosíntesis estelar”, definida como “el conjunto de reacciones nucleares que tienen lugar en las estrellas y que son responsables de la creación de elementos químicos, algunos de ellos desde sus orígenes durante el Big Bang: como el hidrógeno, el helio y el litio”. Estos modelos se están refinando conforme se descubre mas sobre nuestro fascinante universo.

*\*Un Modelo es una representación de la realidad en escala y con muchas simplificaciones y basados en datos, pero haciendo muchas suposiciones. Un modelo es siempre imperfecto y una sobre-simplificación, pero muy útil.*

Muchos telescopios en la Tierra y algunos en orbitas terrestres o solares recaban una enorme cantidad de datos (color, temperatura, movimiento, cambios, espectros en todas las longitudes de onda, etc.) sobre las estrellas, las galaxias, supernovas, y recientemente fusión de estrellas de neutrones y ondas gravitacionales, tanto en nuestra galaxia “Vía Láctea” como también en los confines del universo observable. Instrumentos como el telescopio “Hubble” nos han maravillado por mas de 30 años con imágenes del universo. Ahora, toda la mira esta en el telescopio espacial “James Webb” con su prometedor alcance hacia el pasado cósmico. A continuación se expone un resumen del modelo de la “nucleosíntesis estelar”:

- 1. Big-Bang (Gran Explosión Original).** Los procesos dominantes son: fusión nuclear para formar elementos adicionando protones y neutrones a un núcleo estable. Se forman las partículas elementales (neutrones, protones y electrones) y átomos de Hidrógeno (número atómico o número de protones en el núcleo, 1), Helio (número atómico 2) y posiblemente Litio (número atómico 3).
- 2. Núcleos de estrellas como el sol y más grandes.** Los procesos dominantes son: Cadena Protón-Neutrón, Proceso Triple-Alfa, y Ciclo C-N-O. Se forman los elementos Helio (2), Litio (3), Berilio (4), Carbono (6), Nitrógeno (7) y Oxígeno (8), y muy posiblemente otros.
- 3. Núcleos de estrellas masivas** de 1 a 3 mil veces mas grandes que el sol en diámetro (gigantes rojas y súper-gigantes rojas). Los procesos dominantes son: “Quema” de oxígeno y sílice, proceso alfa o captura de una partícula alfa (núcleo de Helio). Se forman metales como Sodio (11), Magnesio (12), Aluminio (13), Calcio (20) y hasta Fierro (26) u otros similares.
- 4) Explosiones de Supernovas.** Los procesos dominantes en esta etapa son: Proceso de rápida “r” captura de neutrones en una semilla de Níquel (28), se forman

metales mas pesados que Fe y Zn. Y el proceso lento (“s” de slow en ingles) de captura neutrones. Se forman metales de transición como Ni(28), Cobre (29), Zn (30), Plata (47), Oro (79) y otros metales de número atómico entre 31 y 80.

**5) Fusión de Estrellas de Neutrones** (las explosiones mas grandes que se han detectado en el universo, y quizás fusión de hoyos negros), quizás son responsables de metales mas pesados en nuestra Tierra. Los procesos que se llevan a cabo en esta etapa aun no se conocen bien. Pero seguramente se entenderán detalles de la formación de elementos de la serie de los Actínidos: Torio (90), Uranio (92), Neptunio (93), Plutonio (94) y demás elementos radiactivos, inestables y de vida muy corta (la lista va en el Ununocio,118). Una vez formados los metales por procesos de enormes explosiones, difíciles de imaginar, en donde las condiciones son de muy alta temperatura y presión, prácticamente imposibles de reproducir en experimentos científicos en la Tierra, las nebulosas protoplanetarias constituyen la siguiente etapa para la acumulación (enriquecimiento) de metales en ciertas zonas de las galaxias.

### Nebulosas Protoplanetarias

El 5 de Julio de 1054, algunos astrónomos chinos y árabes reportaron una estrella muy brillante que no se había observado en el cielo antes, una “Estrella Nueva o Nova en Latín”. Según los registros históricos, esta estrella “Nova”, fue notoria a la luz del día durante 23 días, y visible, y muy brillante, en cielo nocturno durante 653 noches. Después de ese tiempo la “Estrella Nova” se desvaneció de la misma manera que apareció. Actualmente solo es visible bajo un telescopio mediano y se observa como una mancha difusa o nebulosa. No fue sino hasta el año de 1731 que el astrónomo ingles John Bevis apunto su telescopio hacia el

punto que indicaban los registros de 1054 de los chinos y árabes, que la “Nebulosa del Cangrejo” fue descubierta. Esta nebulosa esta situada a una distancia de aproximadamente 6,300 años luz\* de la Tierra y ubicada en la constelación del Tauro, la nebulosa tiene un diámetro de seis años luz y su velocidad de expansión es de 1,500 km/s. El centro de la nebulosa contiene un “pulsar” o estrella de neutrones súper densa, llamado “Pulsar del Cangrejo”, que gira sobre sí misma a 30 revoluciones por segundo, emitiendo pulsos de radiación que van desde los rayos gamma a las ondas de radio. El descubrimiento de esta nebulosa produjo la primera evidencia de que las explosiones de estrellas masivas (gigantes y súper-gigantes) producen los que ahora se conoce como “explosiones de supernovas”, y como remanente queda una estrella de neutrones súper-densa o pulsar, y material expulsado, o nebulosa rodeando al pulsar. Y es precisamente aquí donde se forman metales pesados y se acumulan en el material que rodea a la estrella de neutrones. Este material rico en metales es expulsado y la nebulosa interactuá con otro material bajo la influencia de enormes fuerzas electromagnéticas y gravitacionales para formar nebulosas protoplanetarias, es decir criaderos de nuevos sistemas planetarios con la formación de una estrella (o varias estrellas – sistemas de estrellas múltiples) al centro y material solido rocoso-gaseoso girando en orbita a la(s) estrella(s), un sistema planetario en formación. A la fecha se han catalogado una gran cantidad de nebulosas planetarias y polvo cósmico considerados como criaderos de estrellas, y potencialmente sistemas planetarios.

*\* Año Luz: Distancia que equivalente a al recorrido de la Luz viajando a una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo.*



Figura 1. Nebulosa del Cangrejo, remanente de la “Supernova” observada en 1054. En el centro existe un “pulsar” o estrella de neutrones girando 30 veces por segundo. El material expulsado contiene metales pesados. Imagen de NASA compuesta por varias fotografías en diferentes longitudes de onda (multi-espectral); <https://apod.nasa.gov/apod/ap220304.html>.

**Formación de planetas rocosos enriquecidos en metales**

Un modelo para la formación de planetas rocosos ricos en metales como el nuestro es: 1) Acumulación de hidrógeno, helio y otros elementos en el disco protoplanetario bajo la acción de poderosas fuerzas electromagnéticas y gravitacionales generadas por el mismo material en movimiento; 2) 99.9 % de la masa del disco protoplanetario esta en la estrella central (estrella rica en Hidrógeno y Helio); 3) menos del 0.1% de la masa se distribuyo en: Planetas Rocosos, Planetas Gaseosos, Planetas Enanos, Satélites, Asteroides y Cometas; 4) La Tierra (planeta pequeño rocoso) dejo escapar grandes cantidades de hidrógeno y helio y acumuló Fe, O, Si, Mg, S y todos los demás elementos con ayuda del bombardeo de una gran cantidad de planetesimales o pequeños cuerpos sólidos rocosos y enriquecidos en metales en el disco protoplanetario. Un excelente ejemplo de uno de estos planetesimales metálicos que quedo en orbita solar es el asteroide 16Psique (16P, 16Psyche en ingles). 16P, descubierto en 1852, mide 226 kilómetros de diámetro y se localiza a unos 370 millones de kilómetros de nuestro hogar, situado en el cinturón de asteroides entre los

planetas Marte y Júpiter. 16P es una rareza o anomalía química (un total “outlier”) porque está compuesto básicamente de hierro y níquel, y quizás muchos otros metales en menos del 2 o 1% del total. Una teoría afirma que este asteroide fue el núcleo metálico de un antiguo planeta del sistema solar que tenía el tamaño de Marte y perdió todas sus capas exteriores, hace miles de millones de años por colisiones con otros cuerpos. Algunas estimaciones indican que el valor económico total de todos los metales de 16P, podría superar los US\$10,000 cuatrillones. Teniendo en cuenta que el valor de la economía global en 2019 era de US\$142 billones de acuerdo al portal de datos alemán “Statista”, podría decirse que los minerales de 16P valen unas 70.000 veces más. Por supuesto, esto es un sueño del ser humano, el minado espacial, aun es un muy lejano sueño. De hecho, ya hay una misión NASA programada para lanzar un robot explorador a 16P en agosto de este año (2022), para llegar a 16P en 2026 y durante dos años orbitarlo y enviar información (básicamente sobre su composición química) muy valiosa a la Tierra

Mencionamos en la Introducción que la composición química general de la Tierra es de Fe 32%, O 30%, Si 15%, Mg 14%, S 3%, y el resto de lo elementos 3%. Es decir, solo 3% para los otros 87 elementos (mas de 65 metales). Analicemos brevemente la estructura interna de la tierra para conocer y entender la distribución en composición y condiciones de la diferentes capas de la tierra. En general tenemos: 1) un núcleo interno sólido constituido por Fe (80% aprox), Ni (5.8%) y Azufre (4.5%), y quizás muchos otros metales en concentraciones traza (menos a 1% o fracciones mas pequeñas), con un radio de 1,200 km; 2) un núcleo externo, siguiente capa de Fe, Ni y S y trazas de otros metales, todos fundidos con 2,300 km de espesor; 3) la capa del manto rocoso de unos 2,800 km de espesor constituido por Sílice 21%, Oxígeno 44%, Magnesio 23%, Hierro 5.8), Calcio 2.3%, Aluminio 2.2% y trazas de otros metales y elementos en general. Estos elementos se

combinan en silicatos metálicos (Al, Fe, Mg, Ca) en fases minerales muy interesantes y que aun estamos descubriendo. Investigaciones recientes indican que podría haber cantidades importantes de agua atrapada en el manto a alta presión y temperatura que tiende a fugarse hacia zonas de menor presión. Finalmente tenemos una delgada capa, en comparación con las otras, y la cual llamamos corteza de la Tierra con un espesor de 6 a unos 50km. Pero, es aquí en la corteza en donde se desarrolla toda la dinámica de la Tierra para enriquecer metales en zonas con características muy particulares, los llamados Yacimientos Minerales Metálicos, que explotamos desde hace miles de años y en particular durante los últimos 500 años por unos cuantos metales, pero en la actualidad explotamos mas de 65 metales para prácticamente todas nuestras actividades modernas.

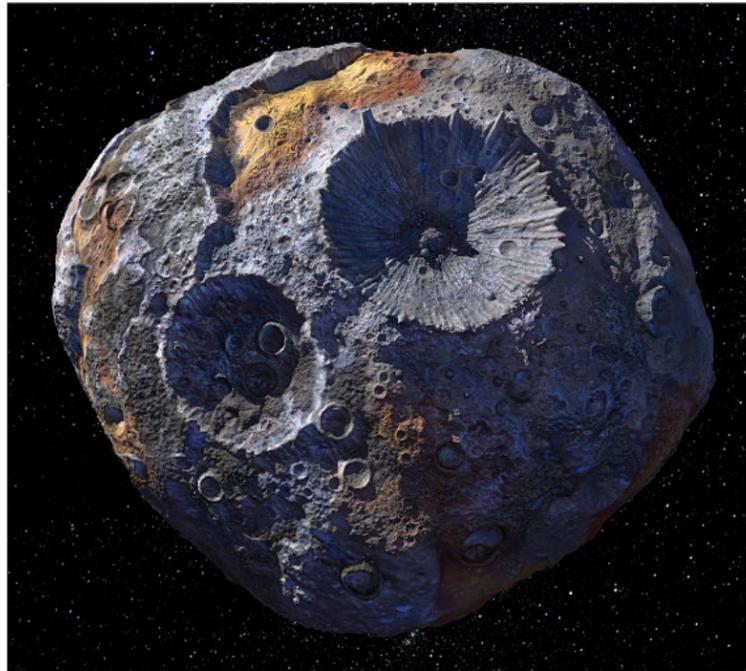


Figura 2. Imagen artística basada en fotografías reales de 16P tomadas por la NASA. La Misión NASA 16P enviara una sonda espacial en Agosto del 2022. Se planea que la sonda llegara en 2026 a 16P y lo orbitara durante dos años tomando gran cantidad de información.

**Tierra; “Anomalía Química” en el Universo**

Nuestro hermoso Planeta Tierra es también un “outlier” o anomalía química en el universo con: 1) una composición química, 2) estructura interna, 3) material solido, liquido y gaseoso, 4) dinámica interna y externa, 5) una constante interacción entre los medios sólidos, líquidos y gaseosos, y 6) con ciclos bien definidos. Todo esto y mucho mas hacen de nuestro planeta una verdadera “aguja del pajar”, o un pequeño diamante en 10 toneladas de roca. De hecho,

NASA y otros centros de investigación por todo el mundo están enfocando la mira en planetas similares a la tierra en otros lugares del nuestra galaxia y hay quienes quieren ir mas allá (la búsqueda de exoplanetas\*).

*\*(Nota: Para Octubre de 2021 se habían confirmado 4,852 exoplanetas en 3.586 sistemas, 800 de los cuales tienen más de un planeta, pero estas cifras crecen constantemente).*



Figura 3. Nuestro Planeta La Tierra, una verdadera anomalía química (y bioquímica) en el universo. Apodado por los astronautas como la “Canica Azul” (Blue Marble). Fotografía NASA tomada por astronautas de la Misión Apolo 17 en 1972.

**Yacimientos Minerales Metálicos en la Tierra**

La composición química general de la corteza continental es: oxígeno (46.6%), sílice (27.7%), aluminio (8,1%), el hierro (5.0%), calcio (3.6%), sodio (2.8%), potasio (2.6%) y magnesio (2.3%). En promedio, metales como cobre, zinc, cadmio, estaño, y otros están en cantidades de mg/kg en rocas y suelos de la corteza. Metales como oro, plata, platino, mercurio, se encuentran en concentraciones de mg/kg (partes por millón) o fracciones. Sin embargo, como se menciona anteriormente, la dinámica de la corteza, asociada a las dinámicas del manto externo de la tierra (Litósfera Terrestre, la capa sólida mas externa de la tierra); y de la Astenósfera (capa del manto superior con condiciones plásticas) ubicado por debajo de la Litósfera,

juegan un papel fundamental para trasportar metales en solución en agua a muy alta temperatura, y bajo condiciones de acidez desde el manto superior. El agua del manto superior combinada son azufre, cloro y metales, forma compuestos sulfurosos y clorurados de metales. Este es el reino de la Metalogenia o Yacimientos Minerales, línea de investigación que tiene el objetivo de explorar y explotar yacimientos metálicos con fines económicos.

La tectónica de placas terrestres controla, de manera general, la distribución de los yacimientos minerales metálicos (YMM) en la Tierra. Un YMM es definido como la concentración anómala de uno o varios metales enriquecidos varios ordenes de magnitud a su promedio en la corteza terrestre, y localizados en una área

relativamente pequeña, otra anomalía química, ahora en la corteza de la tierra. Existe toda una especialidad para clasificar e investigar los diferentes yacimientos metálicos, entre los más importantes tipos de YMM tenemos: vetas metálicas hidrotermales, sulfuros masivos, pórfidos cupríferos-auríferos, yacimientos disseminados, yacimientos de placer, etc. Aquí solamente mencionaremos que la necesidad de usar metales en la industria y economía nos ha conducido a explotar concentraciones de Cu o Zn en el rango de 2-5% (unos 20

a 50 kg por cada tonelada de roca), y metales como oro o platino en concentraciones de 1 mg/kg (1 gramo de oro o platino por cada tonelada de roca). El que una mina opere económicamente depende de la oferta y la demanda del metal o metales explotados. El precio de metales y acciones de empresas mineras se compran y venden todos los días en las Bolsas de Valores de todo el mundo. Somos una sociedad moderna que dependemos de los metales en gran manera, y nuestra necesidad de metales aumenta día con día.

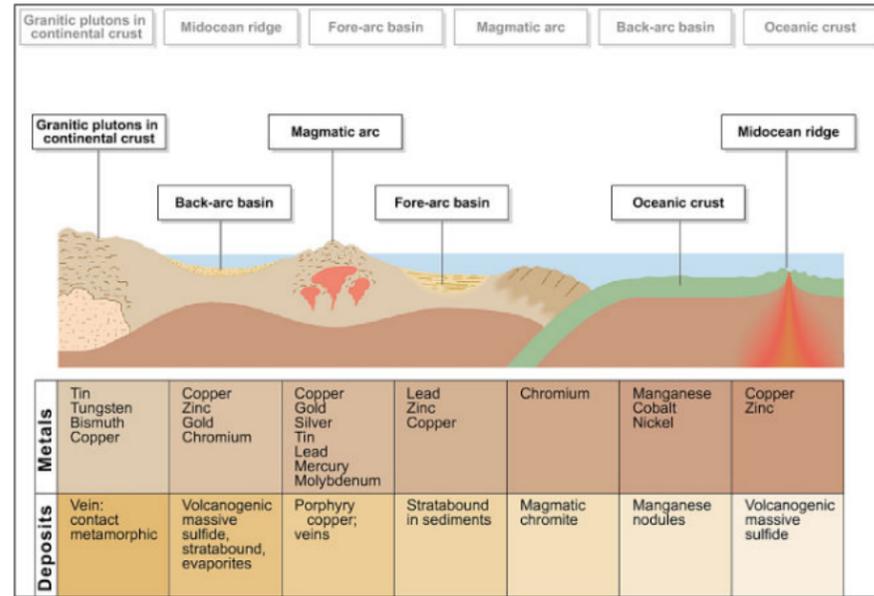


Figura 4. Diagrama esquemático que relaciona el marco tectónico (tectónica de placas) con los diferentes yacimientos minerales metálicos. Tomado de Skinner and Porter, 1987.

### Metales, Industria Extractiva, Transformadora, y Economía Mundial

Mencionamos anteriormente que la economía mundial de los metales extraídos y procesados en 2019 alcanzó los US\$142 Billones. A la fecha se explotan enormes yacimientos de oro en sistemas pórfidos cupro-auríferos con leyes de 1 gr/ton o menos, pero con explotaciones diarias de miles de toneladas. Minado de plata, cobre, zinc, estaño, antimonio, por mencionar algunos metales, esta en máximos históricos. Y que podemos decir del litio, mineral de moda, o de las Tierras Raras, si, los lantánidos que hace 40 años se consideraban simplemente "raros" y ahora son parte fundamental de la electrónica moderna, desde nuestros teléfonos celulares y hasta la tecnología espacial. De la industria extractiva de metales pasamos a la industria transformadora: componentes eléctricos y electrónicos, aleaciones más ligeras y resistentes, conductores, industria automotriz, baterías para autos eléctricos, componentes para celdas fotovoltaicas y para turbinas aerogeneradores, transporte desde bicicletas hasta la estación espacial y el telescopio espacial Webb, etc., la lista es prácticamente interminable. Estos son

algunos ejemplos de la industria de los metales y nuestra dependencia tecnológica y económica en tiempos modernos. Sin embargo, toda esta industria de metales no ha sido gratis, de hecho estamos pagando un precio muy alto como humanidad, el precio es el aumento de metales en agua que bebemos, suelo que cultivamos y aire que bebemos; si la contaminación ambiental por metales.

### Geoquímica Ambiental de Metales

La Geoquímica Ambiental es la parte de la geología y de la química que cuantifica, evalúa y determina si una zona en la Tierra tiene exceso de metales derivados de fuentes naturales y/o fuentes antropogénicas y que pueden afectar a la vegetación, animales y ser humano. Además, la Geoquímica Ambiental estudia los procesos que controlan las reacciones agua-roca, liberación, transporte y acumulación de un metal en diferentes medios: agua, suelo, vegetación. Lamentablemente, como humanidad siempre aprendemos a la mala, es decir después de una catástrofe ambiental empezamos a preguntarnos "¿que es lo que paso y porque paso?".

Las investigaciones de Geoquímica Ambiental empezaron desde la década de los 1960's y solo después de casos lamentables como: Minamata en Japón, Love Canal y Summitville en EUA, y muchos otros en todo el mundo. Describiremos brevemente estos tres casos de desastres ambientales y contaminación por metales. La bahía del Minamata, localizada en la ciudad de Kumamoto, isla de Kyushu de Japón, en la cual operaba la compañía Chisso Corporation, que entre 1932 y 1968 vertieron en esa bahía unas 27 toneladas de compuestos de mercurio. Resultado de ese vertimiento: más de 2,500 personas empezaron a sufrir de un desorden neurotóxico llamado la "Enfermedad de Minamata", cuyos síntomas son, alteración sensorial en manos y pies, deterioro de los sentidos de la vista y el oído, degeneraciones del sistema nervioso, des-coordinación en el movimiento de las partes del cuerpo, debilidad, movimientos involuntarios, desmayos, ceguera, y en casos extremos, parálisis y hasta la muerte, todo por causa de que el metilmercurio arrojado a la bahía había entrado en la cadena alimenticia a través de la ingestión de pescado y de marisco contaminado. La planta química Chisso Corporation fue cerrada y se inició una profunda investigación de las causas y la ruta del mercurio hasta el ser humano, y se iniciaron programas de remediación y limpieza. A la fecha la bahía de Minamata esta limpia de mercurio y en la ciudad de Minamata se estableció, desde 1978, el Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata, institución de investigación de alto nivel para estudiar los efectos de mercurio en sistemas orgánicos, incluido el ser humano. Teniendo en cuenta los efectos sobre la salud humana del mercurio, se aprobó el Convenio de Minamata, que sirvió de base para que se expidiera la Ley 1658 de 2013, por medio de la cual se establecen estrictas normas para la comercialización y el uso de mercurio (prácticamente prohibición de uso de mercurio).

Segundo caso; la zona de "Love Canal", esta es una localidad situada en Niagara Falls (Nueva York). Esta zona protagonizó uno de los mayores desastres ambientales que se conocen. Esta zona urbana se construyó encima de un antiguo basurero de residuos industriales altamente tóxicos que acabó contaminando sus aguas y suelo. ¿Qué ocurrió exactamente? El empresario William T. Love comenzó en 1894 la construcción de un canal que uniría el Lago Ontario con el río Niágara. La obra quedó a medio construir por la falta de recursos. Entre 1942 y 1952, la zanja cavada para el canal se convirtió en un vertedero de basura cuando la empresa "Hooker Chemical" depositó 20.000 toneladas de productos químicos tóxicos en ella. En el año de 1953 la Junta de Educación de Niagara Falls expropió por un dólar simbólico los terrenos para construir el barrio de Love Canal. La empresa química advirtió de los

peligros de edificar sobre aquellos terrenos, renunciando a toda responsabilidad por los daños futuros debido a la presencia de los productos químicos enterrados. Pese a ello, el gobierno local consideró suficiente sellar el vertedero con varias capas de arcilla y tierra. Pero se equivocaron. La construcción de la zona urbana se completó. Los desechos tóxicos escaparon al ser lixiviados por el agua de lluvia, haciendo que los productos químicos enterrados se filtraran al canal. Durante los años siguientes, los vecinos advirtieron la presencia de líquidos de color oscuro y malos olores saliendo de las alcantarillas, así como problemas respiratorios, de fertilidad, taras genéticas, numerosos casos de cáncer, y la contaminación de las aguas del río Niagara. No fue hasta la primavera de 1977, que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) comenzó a estudiar los problemas de Love Canal, y un año después el Departamento Estatal de Salud de Nueva York ordenó al Departamento de Salud del Condado restringir el acceso al área, e iniciar estudios de salud financiados por el propio Estado. Los resultados mostraron la presencia de 200 sustancias químicas contaminantes en el agua, algunas de ellas ricas en metales pesados. Finalmente, en 1980 el "Love Canal" se reconoció como zona catastrófica por la EPA y se financiaron programas de re-remediación ambiental (limpieza). A la fecha la zona esta deshabitada, pero los niveles de contaminación son muy bajos.

Finalmente tenemos el caso de la mina de Summitville, Colorado. Esta mina de oro y plata esta ubicada en el condado de Rio Grande, Colorado, en la montaña Rocallosas a unos 40 km al sur de Del Norte. Este lugar es recordado por el daño ambiental causado en la década de 1980's por el drenaje ácido de minas y la lixivian de metales pesados a arroyos locales y finalmente al río Alamosa. La extracción de oro y plata comenzó en Summitville alrededor de 1870 mediante minería clásica de túneles y socavones. Pero, después de varios dueños, en 1986 se iniciaron operaciones a tajo abierto por la Summitville Consolidated Mining Corporation. El sitio fue abandonado en 1992. De manera natural existía en el sitio mineralizado drenaje ácido de rocas (reacción de oxidación y disolución de la Pirita (sulfuro de hierro) que libera Fe en solución y ácido sulfúrico. Este ácido sulfúrico acidifica el agua y más metales entran en solución. El drenaje natural del sitio siempre había tenido arroyos ácidos y metales en solución. Pero las labores de minería, especialmente desde las operaciones a tajo abierto, aumentaron considerablemente el proceso de drenaje ácido de minas y lixiviación de metales pesados hasta el río Alamosa y el valle. Los elementos liberados al medio ambiente son cobre, manganeso, zinc, plomo, níquel, aluminio y fierro. La Agencia de protección ambiental de los EUA (US-EPA) tomó control del sitio en diciembre de

1992. Finalmente el sitio fue colocado en la Lista de Prioridades Nacionales de sitios "Superfund" o súper-financiamiento para control y remediación en mayo de 1994.

Como se ha mencionado anteriormente, la minería de metales es una de las mayores industrias actualmente, soporte de la economía, tecnología en todos los aspectos, desarrollo social y hasta la tecnología espacial. Sin embargo, el precio que estamos pagando es muy alto. Los residuos de la minería se consideran los mayores residuos por volumen al momento (jales y terreros mineros). Hemos alterado significativamente los ciclos naturales de metales en el medio ambiente: agua que bebemos, suelo



Figura 5. Mina del Cañón Bingham en Utah, es la mina mas grande del mundo (tajo abierto) con una profundidad de mas de 1,200 m y 4 km de diámetro. Esta mina ha producido unos 17 millones de toneladas de cobre, pero ha dejado cientos de millones de toneladas de residuos mineros (jales mineros) potencialmente ricos en metales y metaloides. Fotografía: Alejandro Carrillo.

**Geoquímica Médica**

La grave contaminación por mercurio, otros metales y sustancias derivados de la industria y su consecuente impacto en la salud del ser humano en Minamata, Love Canal, Summitville y muchos otros sitios, detono la investigaciones a nivel mundial sobre el efecto de metales (y otras sustancias) en plantas animales y finalmente en el ser humano. Esta línea de investigación, relativamente nueva, sobre la relación entre metales y otra sustancias y la salud humana es conocida como la Geoquímica Médica. Algunas enfermedades que se relacionan con altos contenidos de ciertos elementos en la ingesta humana son: 1) Fluorosis (exceso de Flúor en agua), mas de 43 millones de personas sufren este problema en China y otros millones en todo el planeta; 2) Desorden por deficiencia de Iódo, mas de mil millones de personas

que cultivamos y aire que respiramos. Y si bien, necesitamos algunos metales en nuestras funciones metabólicas (hierro en sangre, calcio en huesos, zinc en algunas glándulas, etc.), un exceso o déficit de metales en nuestra ingesta puede conducir a graves problemas de salud. Y por supuesto, hay metales que no tienen ninguna función metabólica en el ser humano, pero que existen en el medio ambiente, principalmente por aporte antropogénico, que causan muy graves problemas de salud. A raíz de esta relación entre metales y otros elementos y la salud humana, es que surgió hace unas décadas la rama de la Geoquímica Médica, encargada de investigar el papel que juegan los metales en procesos metabólicos en el ser humano.

padecen este mal a nivel mundial; 3) Exceso de arsénico, toxico y cancerígeno. Casos bien documentados en Taiwan, Chile, Argentina, México, China, Bangladesh e India; 4) Muchas otras enfermedades atribuidas a déficit o exceso de metales como hierro, cobre, aluminio, titanio, mercurio, etc. No hay duda de que la vieja frase "somos lo que comemos" es mas cierta ahora que nunca. Y la industria moderna ha alterado los ciclos naturales de metales y otros elementos en el medio ambiente, a saber, agua que bebemos, suelo que cultivamos y aire que respiramos. Recientemente (últimos 20 años) se ha iniciado el mapeo de elementos en zonas rurales, urbanas e industriales, junto a el desarrollo estadístico de índices de contaminación ambiental a fin de conocer concentraciones naturales vs antropogénicas (afectadas por el ser humano) en suelo, agua y aire.

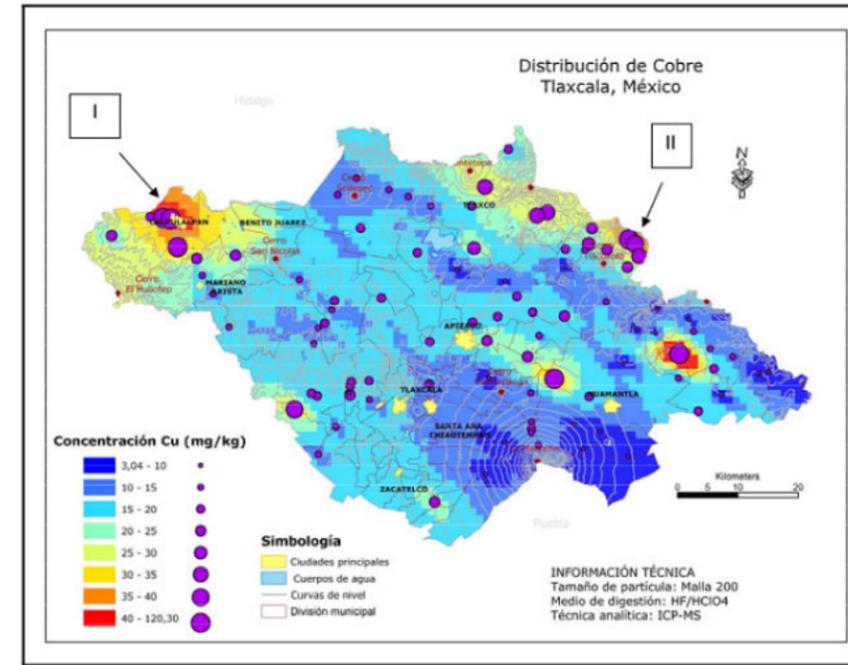


Figura 6. Mapa de Distribución de cobre en suelo (30 cm) del estado de Tlaxcala. Atlas Geoquímico del Estado de Tlaxcala, Carrillo Chávez y otros 2007.

**De las Estrellas a su Mesa**

Finalmente llegamos a los metales en nuestra mesa (alimentos y bebidas). Los principales elementos en nuestra dieta diaria son por supuesto carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, todos estos en forma de agua (el agua debe de tener unos 200 mg/l de Ca, Na, K, Mg, carbonato, sulfato y cloro); complejas proteínas, grasas, hidratos de carbono y vitaminas. Estos son llamados elementos mayores esenciales y se encuentran en todos los alimentos

que ingerimos. Pero también existen los elementos trazas esenciales, es decir, elementos esenciales en procesos metabólicos de nuestro cuerpo pero que se encuentran en concentraciones muy bajas y que requieren de un perfecto balance para que nuestro organismo funcione correctamente. La Tabla 1 muestra la relación entre algunos metales y metaloides (As y Se) como nutrientes esenciales traza en nuestro metabolismo y sus efectos por deficiencia y/o exceso en la dieta en alimentos y/o bebidas.

Elemento	Prom. Cuerpo	Año reconocido	Función	Efectos/def.
Fe	60 mg/kg	Siglo XVII	Transporta O2 en sang.	Anemia
Cu	1.0	1928	Cu + Fe, enzimas	Anemia, prob. Huesos, colest.
Zn	33	1934	Metabol.	Prob. de crecimiento
As	18	1977	desconocido	desconocido
Cd	0.7	1977	desconocido	desconocido
Cr	0.03	1959	Insulina	Diabetes
Se	- - -	1957	Enzimas, Se + metales	Problemas de Corazón

Tabla 1. Relación entre elementos traza esenciales, su concentración promedio en nuestro cuerpo, su función metabólica y efectos por déficit y/o exceso en nuestra dieta.

Además de las funciones indicadas en la Tabla 1, se están encontrando otras funciones metabólicas de metales en nuestro organismo, por ejemplo, como el cobre es fundamental en funciones cerebrales-sinápticas. También se está descubriendo y estudiando la relación de nanopartículas de oro en funciones neuronales. De hecho, la relación entre metales traza y funciones metabólicas es una línea de investigación muy reciente. Algunos ejemplos de investigaciones sobre metales pesados y alimentos y bebidas son: a) metales pesados en suelos, uvas y vino; b) cadmio, cobre y plomo en diferentes tipos de queso; c) metales pesados en diferentes cosechas, etc. En fin, esta línea de investigación de metales pesados en nuestros alimentos y su efecto benéfico o perjudicial sigue avanzando a grandes pasos conforme se avanza también en los métodos de instrumentación química analítica.

### Conclusiones

Los metales pesados son parte fundamental de nuestra vida cotidiana, los usamos en muchos aspectos de nuestra vida. La industria moderna y la economía mundial dependen en gran manera de los metales pesados y sus aleaciones y aplicaciones en nuevos materiales. También se está descubriendo que algunos metales pesados tienen funciones metabólicas en diferentes organismos (plantas y animales), y en nuestro propio cuerpo. Pero también un efecto tóxico cuando existe un desbalance en su ingesta (déficit y/o exceso). Todos recordamos la fortaleza de "Popeye" al comer sus espinacas ricas en hierro, pero ahora se está descubriendo que muchas otras plantas son excelentes fuentes de hierro, cobre, zinc, y otros metales esenciales traza en nuestro organismo.

Por otro lado, la astroquímica descubre detalles de la formación de estos metales pesados en explosiones estelares de proporciones fuera de nuestra imaginación. Después viene la evolución de nebulosas planetarias y formación de planetas similares a nuestra Tierra. La astronomía moderna se enfoca en parte a la búsqueda y caracterización de exoplanetas. Sin embargo, por el momento y por mucho tiempo por delante, solo tenemos

nuestro hermoso Planeta Tierra, una anomalía química y bioquímica en el universo que nos provee de los metales pesados para nuestra industria y para alimentarnos, literalmente nuestro planeta tiene los Metales Pesados formados en las estrellas y dispuestos en nuestra mesa.

### Biografía

A. Carrillo-Chávez, J. Calzada Mendoza, O. Morton Bermea, E. Alvarez Hernández, A. Delgado, R. Ortiz, E. Socorro Soto, I. Navarro de León, 2007. Atlas Geoquímico del estado de Tlaxcala. Proyecto de Fondos Mixtos (FOMIX). Clave Clave TLAX-2002-C01-1981

Astronomy Today, 2013, Chaisson, E. and McMillan S. 8th Edition, Pearson Education. Earth: An Introduction to Physical Geology, 2013. Tarbuck, Lutgens and Tasa, 11th Edition. Pearson Education, 876 p. <https://www.mining-technology.com/projects/bingham/>

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

Ibrahim, E. 2004. Cadmiun, Copper and Lead in some kinds of Chesses, Benha Vet.Med.J., Vol.15, p. 55-64.

Prabhat Kumar Raia, Sang Soo Leeb, Ming Zhangc, Yiu Fai Tsangd, Ki-Hyun Kime, 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. Environmental International, Elsevier, Vol. 125, p. 365-385

Physical Geology, 1987, B. J. Skinner and S. C. Porter, John Wiley & Sons, New York, 750 p.

R. Finkelman, W. Oren, G. Plumlee and O. Selinus. 2018. Applications of Geochemistry to Medical Geology. Environmental Geochemistry Ch. 17, Elsevier, p. 435 -465.

Orescain, V., Katunar, A., Kutle, A. and Valkovic, V., 2008. Heavy Metlas in Soil, Grape and Wine, J. of Trace and Miroprobe Techniques, V, 21, Issue 2, p. 171 – 180.

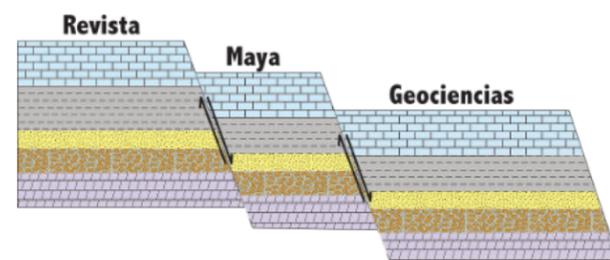


**Dr. Alejandro Carrillo-Chávez.** Ingeniero Geólogo del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en La Universidad de Cincinnati, y Doctorado en la Universidad de Wyoming. Inicio su trabajo en el Instituto Mexicano del Petroleo y después inicio vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingreso al a Unidad Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inicio dando clases de petrología ígnea y metamórfica. Actualmente es Tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Su maestría fue sobre yacimientos minerales metálicos y su doctorado sobre geoquímica ambiental. Actualmente sus líneas de investigación son: Metales Pesados en Medio Ambiente, Hidrogeoquímica, Geoquímica Isotópica de Metales Pesados e Hidrogeoquímica de Salmueras Petroleras. A la fecha es responsable de un Proyecto UNAM sobre Concentraciones de metales e isotopía estable de Zn y Hg en agua de lluvia, nieve y núcleos de hielo en glaciares mexicanos. [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)



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

Carolina tiene una Maestría en Ciencias Ambientales y una Especialidad en Técnicas Instrumentales. Es Responsable Analítica del Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Centro de Geociencias, Campus UNAM Juriquilla. Se especializa en análisis de agua por las técnicas de ICP-OES y HPLC. Participa en proyectos de investigación, en los cuales apoya en diversas actividades. Carolina está involucrada de forma activa en numerosas actividades de difusión y divulgación de la ciencia, tanto como participante como organizadora. Ella es parte de un grupo de académicos del CGEO que llevan a cabo el Taller de Ciencia para Jóvenes desde el 2009 a la fecha, y el Taller de Ciencia para Profesores. A ello hay que añadir la organización y participación en la primera versión de la Semana de la Tierra, ferias y exposiciones de ciencia. Del mismo modo ha acudido a la sierra a compartir con niños y profesores de lugares de difícil acceso su pasión por la ciencia. pasión que se ve reflejada en múltiples talleres de ciencia, seminarios y charlas de divulgación. Colabora activamente en Proyectos sobre metales pesados con el Dr. Alejandro carrillo en el Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla. [caromt@geociencias.unam.mx](mailto:caromt@geociencias.unam.mx)



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

Ing. Rogelio Ramos Aracén

ramosrogelio51@gmail.com



## De mis libretas de Campo en la S.M.O.

Mis principales trabajos de Geología de campo, siempre fueron para Pemex Exploración, así me inicié como ayudante midiendo estratigráficamente a la Formación Chicontepec, y registrando las estructuras sedimentarias desde las principales hasta los asombrosos lcnofosiles que fueron clave para interpretar que estas turbiditas se depositaron a más de 3,800 m de profundidad. Posteriormente hice semidetalle estructural y más mediciones estratigráficas en la Plataforma Valles S.L.P., y uno grandioso de Reconocimiento Regional de la Sierra Madre Oriental, cubriendo los estados de Nuevo León y Tamaulipas, donde los paisajes, los sobre esfuerzos a veces inhumanos, me sellaron mi pasión por esas majestuosas montañas, recuerdo cuando subimos el Cerro del Viejo en la región de Zaragoza N.L. donde iniciamos los trabajos como a las 8 am y llegamos a la cima a las 21 pm casi desmayándome, después supe que esa cima fue referencia del navegante español Cabeza de Vaca en su travesía marinas. Y fui jefe de Brigada a partir de 1981 con mi primer proyecto, (del cual pongo aquí mi primer dibujo) y a partir de aquí, continuo haciendo expediciones a la SMO con colegas y a veces solo en las sinuosas áreas de la Sierra Madre Oriental, en la regiones de Tamazunchale, Xilitla, Cd. Valles SLP, en la Sierra de Huizachal Peregrina, y en casi gran parte de la SMO desde Monterrey N.L. hasta Huachinango Puebla, y también hago expediciones por mi cuenta de las cuales he realizado 3 excursiones para profesionistas y jóvenes pasantes. 2 en la Fm. Chicontepec y otra en las rocas cretácicas y Jurásicas de tipo Shales donde tuve gran participación de profesionistas de la U.N.A.M. Y el IPN, Ingenieros Petroleros, Ingenieros Geólogos y pasantes de geociencias y dos doctores uno en Geoquímica y otro en Geofísica.



**Dibujo 1**

**Localidad;** Geográficamente está ubicada en el Frente Oriente de la Sierra de Tamalave, en la región, entre Cd. Mante y Ocampo, Tamaulipas, México.

Geológicamente, en el frente oriental de la Plataforma Valles S.L.P. y de la S.M.O.

**Título;** *Cabalgamiento de Tamalave.*

Se presenta la falla de Cabalgamiento de la Formación el Abra de edad Cretácico Medio, sobre rocas muy alteradas de la Formación Agua Nueva de edad Cretácico superior

**Desarrollo del trabajo;** En Un día caluroso del mes de mayo de 1981, salimos desde el ejido de Coahuila en el municipio de Antiguo Morelos, Tamaulipas., con el fin de cruzar transversalmente la Sierra de Tamalave.

Así por la mañana iniciamos subiendo una cuesta muy fuerte, y muestreamos en las margas y lutitas calcáreas de la Formación Méndez, en un terreno de suelo amarillento con maleza pequeña, cabe destacar que desde varios puntos en esas áreas se observa un gran farallón o risco muy abrupto de color blanco, que hace de ese paisaje algo peligroso de caminar, por lo cual al llegar cerca del pie de ese gran risco, y buscando la forma de sortear un camino donde los pudiéramos escalar, nos encontramos con esta maravilla de lugar, al que le denominamos localidad tipo de la falla de Cabalgamiento de Tamalave, la cual que sirvió a partir de estos afloramientos para modificar las anteriores interpretaciones estructurales de esas áreas.

**Descripción del Dibujo;** Observamos rocas de tipo calizas en capas muy gruesas de 60 a 120 cm. de color crema claro típicas de la Fm. El Abra del Albeano-Cenomaniano ubicadas encima de rocas calizas tipo mudstones arcillosas de color gris oscuro a negro muy deformadas, en formas acuñadas con nódulos de pedernal y lutitas muy alteradas, al frente se observa la mesa de la plancheta, y también el tipo de vegetación algunas xerófilas y al fondo arboles de encinos de esas áreas semi áridas.



**Dibujo 2**

**Localidad;** Geográficamente se ubica en el Cañón de la Peregrina ubicado al poniente del ejido La Libertad al NW de Cd. Victoria Tamaulipas, México.

Geológicamente se encuentra en flanco Oriental del gran Arco de Huizachal Peregrina.

**Título:** *Cañón de la Peregrina.*

Se observa la morfología del Complejo Metamórfico del Gneis Novillo.

**Desarrollo del Trabajo;** Durante los recorridos en la región de Cd Victoria Tam. entramos al Cañón de la Peregrina desde el ejido La Libertad y luego llegamos hasta observar las rocas metamórficas del Paleozoico Esquistos Granjeno y el Gneis Novillo y desde el río subimos en dirección hacia el SE.

Y desde las partes altas de esa sierra se elaboró el siguiente dibujo, donde se visualiza en el fondo en las estribaciones del arroyo La Presa a la morfología que presentan las rocas del Complejo Metamórfico de edad Pre Cámbrico del Gneis Novillo, encima de ellas se presenta la gran Discordancia Mesozoica con rocas de edades Jurásicas y Cretácicas principalmente.

**Descripción del Dibujo;** En este caso se observan las características geomorfológicas de acuerdo a los sistemas erosivos y al tipo de rocas, en las rocas metamórficas se observan rasgos con pendientes suaves, en tanto que el contacto con las rocas sedimentaria en la Discordancia se tiene un cambio morfológico abrupto y ya en las secuencias de las capas sedimentarias del Jurásico y Cretácico se observa el paralelismo que tienen esas secuencias estratigráficas.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Co Autor del Libro**

Paul Enos, Charles Minero, Rogelio Ramos Arcen. *"Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico"*, AAPG GUIDE BOOK FIELD TRIP AAPG DALLAS ANUAL CONVENTION 1997

**Principales Conferencias Impartidas.**

**EN CONVENCIONES NACIONALES DE LA SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA, en los años:**

**1984** "LOS CABALGAMIENTOS EN LA REGION DE CD. MANTE TAM." VI CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICO MEXICANA EN EL HOTEL MA. ISABEL SHERATON EN MEXICO, D.F.

**1986** "EL ORIGEN DE LAS CONCRECIONES EN LA FM. LA CASITA" VII CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICO MEXICANA EN EL IMP EN MEXICO, DF.

**1988** "LOS OLISTOLITOS DE LA FM. EL DOCTOR EN EL AREA DE ZIMAPAN, HGO". VIII CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICO MEXICANA EN LA CFE EN MEXICO, DF.

**1990** "DEFORMACION ESTRUCTURAL EN EL FRENT DE LA SMO AREA, XILITLA, TAMAZUNCHALE, SLP". IX CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL AUDITORIO BRUNO MASCANZONI DEL IMP EN MEXICO, DF.

**1992** "EXPLORACION DE PETROLEO ASOCIADO A EL FRACTURAMIENTO REGIONAL EN LA PLANICIE COSTERA" X CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL CENTRO DE CONVENCIONES "EXPOVER" EN EL PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ.

**2021** "LA INVASION MARINA SOBRE LOS BORDES CONTINENTALES DESDE EL CALLOVIANO AL KIMMERIDGIANO EN EL ORIENTE Y SURESTE DE MEXICO. CDMX VIA ZOOM.

**2021** "PRINCIPALES OROGENIAS EN MEXICOM CATACTERICAS GEOLOGICAS. ESTILOS ESTRUCTURALES, CRONOLOGIAS". CDMX. VIA ZOOM

## Reflexiones sobre la Tectónica

Ensayo realizado por: **Bernardo I. García-Amador**

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

**Desde las profundidades: ¿es la convección del manto, el fenómeno que gobierna a las placas litosféricas?**

### Resumen

La tectónica de placas, o Tectónica, es la teoría unificadora de las Ciencias de la Tierra. Mientras que esta teoría tiene la capacidad de explicar un gran número de fenómenos en las geociencias, como consecuencia del movimiento e interacción de las placas litosféricas, quedaría una pregunta reflexiva al aire: ¿qué proceso es el que gobierna a la Tectónica? En este ensayo se aborda brevemente una indagación a esta pregunta, buscando explicar el fenómeno de la convección “moderna” del manto a partir de las evidencias geológicas y geofísicas (e.g., el registro de las grandes provincias ígneas, las tomografías sísmicas, etc.), como un modelo sencillo de la explicación que causa la Tectónica. No obstante, también se discuten algunos aspectos que se contraponen o ubican a la convección del manto en una encrucijada. Por último, se plantea abordar la posibilidad de un modelo híbrido o “articulado” de la dinámica del interior de la Tierra, entre los modelos “Andersoniano” y “Burkiano”, que permitan explicar diversos procesos tectónicos de una manera clara.

**Palabras clave:** Tectónica; Convección del manto; Tomografía sísmica; Modelo Andersoniano; Modelo Burkiano.

### Abstract

Plate Tectonics, or Tectonics, is the unified theory of Earth Science. While this theory can explain many phenomena in geosciences, as a consequence of the movement and interaction of lithospheric plates, a reflexive question would remain: what process governs Tectonics? This essay briefly addresses an inquiry into this question, seeking to explain the phenomenon of mantle “modern” convection based on geological and geophysical evidence (e.g., large igneous provinces record, seismic tomography, etc.), as a simple model of the explanation that causes Tectonics. However, some aspects that oppose or place mantle convection at a crossroads are also discussed. Finally, it is proposed to address the possibility of a hybrid or “articulated” model of the Earth’s interior dynamics, between the “Andersonian” and “Burkian” models, which allow a clearly explaining various tectonic processes.

**Keywords:** Tectonics; Mantle convection; Seismic tomography; Andersonian model; Burkian model.

### Introducción

Es verdaderamente fascinante ver lo que produce la tectónica de placas, la formación de cadenas montañosas, las regiones más profundas del fondo marino, los volcanes, los sismos, y un largo etcétera de procesos en nuestro planeta. Me gustaría añadir que, aquellas personas que tienen la dicha de ver las rocas en el campo y en el fondo marino, son maravillados de observar la gran variedad de geometrías caprichosas y polícromos minerales, sin dejar de mencionar los procesos biológicos y el registro fósil; todos estos, formados debido a la actividad tectónica. Asimismo, al reflexionar sobre estos procesos tectónicos, sustanciales formadores del mundo que nos rodea, también nos lleva a una pregunta reflexiva: ¿y qué proceso gobierna a la tectónica de placas? La idea central de este texto es indagar y discutir brevemente la respuesta a esta pregunta. Así que, comencemos por alguna parte.

La tectónica de placas, o Tectónica, ha sido la teoría unificadora de las Ciencias de la Tierra desde los 60s (s. XX); ésta nos habla sobre las consecuencias de la interacción de las litósferas (continental y oceánica), que son fragmentos de la capa sólida más externa de nuestro planeta (Figura 1). Sin embargo, su aceptación como teoría ha sufrido de un largo camino, minado de críticas, escepticismo y confrontación. Este camino comenzó a partir del trabajo publicado por Alfred Wegener en 1912 (Wegener, 1912) y que generó agitaciones en la comunidad científica a partir de los 20s (s. XX). Pero, para adentrarse más en la historia y la filosofía de la ciencia, de la Tectónica, es ampliamente recomendable ahondar en los cuatro volúmenes del trabajo de Henry R. Frankel (e.g., Frankel, 2012), ya que en estos libros se encontrará mucho más de lo que este humilde párrafo le puede hacer honor a la historia de la Tectónica. No obstante, y continuando con un poco de la historia, podemos encontrar que como en toda revolución científica, la Tectónica sigue mostrando regiones todavía en debate y en plena exploración, uno de estos campos son los procesos que ocurren en el interior de la Tierra, en particular dentro de la capa con mayor volumen de nuestro planeta: el manto, aquella que se encuentra entre la corteza y el núcleo (Figura 1).

Recientemente, Geoffrey F. Davies publicó un libro reflexivo sobre el debate científico de los procesos que ocurren en el interior de la Tierra y cómo estos tienen su singular implicación en los mecanismos que mueven a las placas (Davies, 2022). Y, no es que esto no se haya dicho antes, por el contrario, es una de las partes del telar que

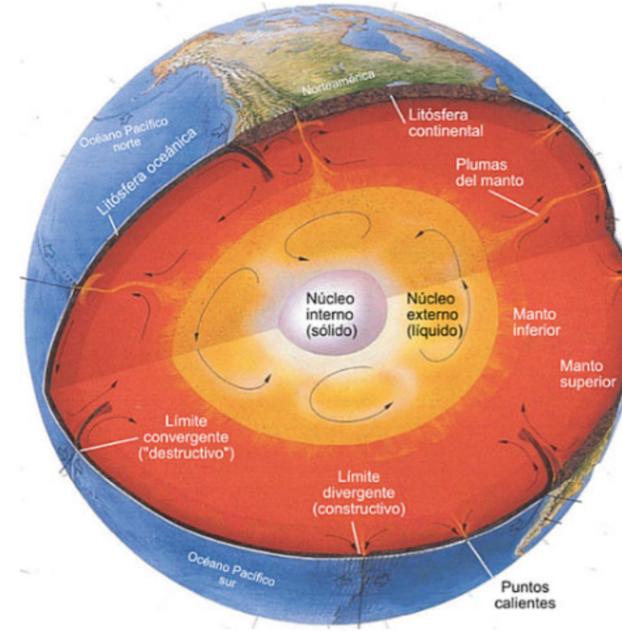


Figura 1. Representación de los principales elementos geodinámicos en el interior de la Tierra: las convecciones en el manto y núcleo externo, la divergencia, la convergencia y las “plumas del manto”. Asimismo, se aprecian las principales capas de la Tierra: litósfera (i.e., corteza oceánica o continental en conjunto con el manto litosférico), manto superior e inferior, y núcleo externo e interno. Imagen modificada y traducida de Bercovici & Mulyukova (2021).

los geocientíficos no han podido remendar del todo (cfr. Foulger, 2010), y estamos hablando que esto ha ocurrido desde los inicios de la teoría de la Tectónica. Incluso, podríamos discutir que quizá todo esto se detonó a partir de los trabajos de Arthur Holmes que vislumbraba los procesos termodinámicos y geoquímicos en el interior de la Tierra (e.g., Holmes, 1928), estos procesos se asemejaban por mucho a lo que hoy entendemos como la “convección del manto”. Además, estos y otros resultados e hipótesis, propulsarían una serie de investigaciones clave, entre éstas, las campañas en buques oceanográficos posterior a la Segunda Guerra Mundial, que se consolidarían en trabajos tan valiosos sobre la expansión del piso oceánico, el origen de las cuencas oceánicas y las anomalías magnéticas del piso oceánico (Dietz, 1961; Hess, 1962; Vine & Matthews, 1963), dándole así su estocada final al sustento de la deriva continental, explicación fundamental que impulsó a la aceptación rotunda de la Tectónica.

Lo que podemos apreciar, es que el papel de la dinámica del manto ha jugado y juega hoy en día un rol importante y preponderante en el entendimiento de la Tectónica, estaríamos hablando de ya casi 100 años de discusión sobre este tema. Y, el interés por conocer el fenómeno dinámico que impera en el manto no es poca cosa, ya que esto permite explicar los procesos que gobiernan a la Tectónica o el vulcanismo que no está asociado a la Tectónica, esto es, vulcanismo intraplaca. Asimismo, cabe mencionar que otros planetas como Marte y Venus, que no precisamente tiene Tectónica, sí presentan vulcanismo intraplaca, lo que nos indicaría que dichos planetas tienen

una dinámica en el manto. Pero, para todo esto, ¿cómo es la dinámica del manto? Y, ¿cómo ésta gobierna tales procesos geológicos como la Tectónica o el vulcanismo intraplaca? A continuación, nos introduciremos más en este tema.

### La convección

Para hablar de la dinámica que gobierna al manto primero debemos pensar que, a pesar de que el manto está compuesto de rocas sólidas con una composición variada y estratificada, en escala de tiempo geológico (i.e., millones de años) estas rocas tenderán a fluir bajo el efecto de la energía potencial gravitacional y las variaciones de la temperatura. Sólo una nota importante, el manto no “fluye” en una forma líquida, sino como un estado del medio deformado; si se quiere entender mejor esto, es recomendable estudiar las propiedades reológicas del manto (ver: Karato, 2013). Por lo que, el fenómeno de un material que fluye confinado dentro de una capa y con un gradiente de temperatura siendo mayor en la base que en la cima, puede ser descrito por la convección de Rayleigh-Bénard, que es la típica convección con celdas que van de arriba a abajo y viceversa, como se observa en las flechas negras de la figura 1. Dentro de este fenómeno existe una competencia entre las fuerzas de flotabilidad térmica y el amortiguamiento por la viscosidad de las rocas, así como por la difusión térmica, que al final se caracterizan con una razón adimensional llamada el número de Rayleigh ( $Ra$ ), en la que si la temperatura de la base de la capa es mayor a la cima ocurrirá la convección, también llamado número de Rayleigh crítico ( $Ra_c$ ). En otras palabras, si  $Ra < Ra_c$ , entonces el transporte de calor se dará por conducción

térmica y no por la convección (Turcotte & Schubert, 2014; Bercovici & Mulyukova, 2021).

Además, cabe mencionar que, resulta ser que la manera más efectiva de transportar calor en el interior de la Tierra es la convección. Sin embargo, hemos de suponer que una convección total y efectiva mezclaría el interior de la Tierra por completo, volviendo la temperatura isotérmica, pero ése no es el caso. Así que, ocurre otro fenómeno interesante, en el que existe una característica importante en la convección del manto, la cual forma “capas límites térmicas”, que son pequeñas capas que acomodan saltos de temperatura dentro del sistema Rayleigh-Bénard. Geológicamente hablando, estas capas en el interior de la Tierra son aquellas como la litósfera o la astenósfera, entre otras. Así, el comportamiento térmico de estas capas juega un rol más en el aspecto de la conducción térmica que en de la convección, a menos que exista una inestabilidad por una variación en el flujo de calor de la capa. La relación del flujo de calor en una capa bien mezclada convectiva y una capa puramente conductiva se determina por el número de Nusselt (*Nu*), en la que hay una fuerte dependencia entre la diferencia de temperatura entre la cima y la base, y el espesor de la capa (Turcotte & Schubert, 2014).

Ahora sí, dado lo anterior, la pregunta sería ¿y qué elementos geológico-tectónicos son aquellos que representan al material que asciende y desciende “de manera convectiva” en el interior de la Tierra o aquellas evidencias que nos hablan de materiales circulando en una celda de convección? En adelante, nos adentraremos en reconocer aquellas evidencias geológicas que observamos por métodos directos e indirectos (i.e., geofísica) y que nos hablarían acerca de la convección del manto.

### De la convección “clásica” a la convección “moderna” del manto

Para empezar, podemos partir de una premisa, que la Tectónica nos explica un sistema que se encuentra en equilibrio, esto es, que la dinámica litosférica nos muestra que los fragmentos o placas añaden o “construyen” material en la superficie, por ejemplo, en las dorsales oceánicas, los arcos magmáticos o el vulcanismo intraplaca; y que hay regiones en los que el material se “destruye” como lo observamos en la subducción de las placas litosféricas oceánicas (Figura 1). Incluso, lo anterior lo podemos ver en un sentido figurativo, ya que, si analizamos esta dinámica en tres dimensiones, sólo veríamos el material geológico subiendo y bajando con respecto a la superficie. Pero, como ya hemos visto de manera breve acerca de la convección, la tónica sería identificar cómo es que ocurre este proceso en el interior de la Tierra.

La cuestión aquí es que, mientras la teoría de la Tectónica adquiría fuerza a finales de los 60s y principios de los 70s, un señor llamado Jason Morgan propuso la idea de algo llamado plumas del manto (Figura 1) para explicar el vulcanismo intraplaca de Hawái y otros lugares en el mundo (Morgan, 1971). Pero, no sólo eso, además propuso que este fenómeno provenía desde el manto inferior, lo que involucraba la construcción de una nueva teoría sobre la dinámica del manto inferior y superior. Podríamos decir que, a partir de este momento se desencadenaría una revolución científica sobre la dinámica del interior de la Tierra. Visto desde otra perspectiva, Jason Morgan introdujo un “ingrediente extra” a la Tectónica, mismo que buscaba rellenar huecos dentro de la gran teoría de los 60s. Por lo que, a partir de los 70s se comenzó a invocar en múltiples ocasiones el fenómeno de las plumas del manto para explicar diversos procesos geológicos, como los puntos calientes o hotspots (como se nombra en inglés), o las grandes provincias ígneas o *Large Igneous Provinces* (LIPs, por sus siglas en inglés), los levantamientos litosféricos, entre otros. Al final, parecía que resultaba fácil invocar a las plumas del manto para explicar procesos geológicos, pero sin entender el fenómeno causante de estos.

Los primeros intentos de entender la convección del manto llevaron a pensar en una premisa sencilla: el manto está mezclado por la convección, esto es, que debía existir una composición química homogénea en el manto y, como resultado, las rocas producidas “directamente del manto” debían tener una firma geoquímica similar. Sin embargo, esto no resultó ser así, las firmas geoquímicas de distintos basaltos en el mundo mostraron una gran heterogeneidad del manto, lo que condujo a la paradoja de los basaltos tipo OIB (Ocean-Island Basalt) y los de tipo MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt) (van Keken et al., 2002). Prácticamente, este tópico merecería todo un ensayo, ya que es un gran tema de discusión con más de 30 años de vigencia. Al final del día, las firmas geoquímicas estudiada en los basaltos producidos en las dorsales y aquellos “producidos” por las plumas del manto, serían una piedra en el zapato de las primeras ideas de la convección del manto.

El gran problema en todo esto es, que conocemos muy poco acerca del interior de la Tierra. Los pozos más profundos no superan los 12 km (por ejemplo, ver: <https://www.icdp-online.org/home/> y <https://www.iodp.org/>), siendo que nuestro planeta tiene un radio promedio de 6,370 km. Por supuesto, hay algunas evidencias de la composición del manto, como se puede observar a través de los xenolitos (Downes, 2021) o el registro ofiolítico (Dilek & Furnes, 2014), incluso, con el estudio de los

meteoritos (McCoy, 2021). No obstante, de manera indirecta la sismología en conjunto con la petrología experimental nos ha permitido entender las capas del interior de la Tierra, pero no por mucho cuál es su dinámica. Mientras a finales de los 90s las nuevas evidencias de la tomografía sísmica (e.g., Grand et al., 1997), fortalecían las ideas de la convección “clásica” del manto, gobernada por una circulación global; a inicios de los 2000s comenzó a conformarse una nueva corriente de pensamiento que explicaba los procesos geológicos sin necesidad de invocar una convección del manto global, y mucho menos dominada por las plumas del manto, a esta nueva teoría de mecanismos propulsores de las placas tectónicas se le nombraría la “Tectónica de arriba-abajo” (*Top-down Tectonics*; Anderson, 2001). Esta nueva escuela de geocientíficos (Foulger et al., 2005) propondrían que los procesos de la convección estarían localizados en la parte del manto superior, esto es, por encima de los 660 km, y que las anomalías térmicas estarían producidas por la misma dinámica de las placas y no por una pluma del manto procedente del manto inferior (i.e., 660–2,800 km).

Durante los 2000s, las técnicas en sismología continuaron desarrollándose, lo que se desencadenó en mejores imágenes, por ejemplo, en la tomografía sísmica (Figura 2a y 2b). Para el 2007 se obtuvieron imágenes más nítidas e interpretables del manto inferior; especialmente, se detectaron dos grandes regiones de baja velocidad con base en las ondas de corte en la interfaz del manto-núcleo

(Garnero et al., 2007) (Figura 2c y 2d). Más tarde, estas dos grandes provincias de baja velocidad de ondas de corte (*Large Low Shear-Wave Velocity Provinces*; LLSVP) serían bautizadas como las provincias Tuzo y Jason, y propuestas como estables al menos desde el Jurásico-Triásico (Burke, 2011) (Figura 2c y 2d). Prácticamente, estas evidencias, nuevamente fortalecieron la convección “clásica” del manto, mostrando que algunos casos de la dinámica en el interior de la Tierra sí muestran circulación global. La propuesta, ha sido sencilla, y que ya hemos explicado brevemente arriba: una circulación global de la convección en todo el manto (inferior y superior), en el que las litósferas oceánicas en subducción introducen material “frío” (Figura 3A), y al llegar a la interfaz núcleo-manto, este material se transforma y transporta “caliente” hacia arriba en forma de plumas del manto (Figura 3B), completando la convección. Empero, otro aspecto que adornó este modelo de convección fue la adición de las reconstrucciones tectónicas desde el Pérmico, poco antes del rompimiento de Pangea (Torsvik et al., 2014). La genialidad y sustantividad de este modelo, fue añadir a las reconstrucciones el movimiento de los LIPs, hotspots y kimberlitas, como posibles consecuencias de las plumas del manto, resultando en que estos elementos geológicos se acomodaban en los bordes de las LLSVP en el tiempo y espacio (Figura 2c y 2d). Por supuesto, esto no fue “un simple punto final”, por el contrario, acentuó la disputa por entender a cabalidad la dinámica del interior de la Tierra.

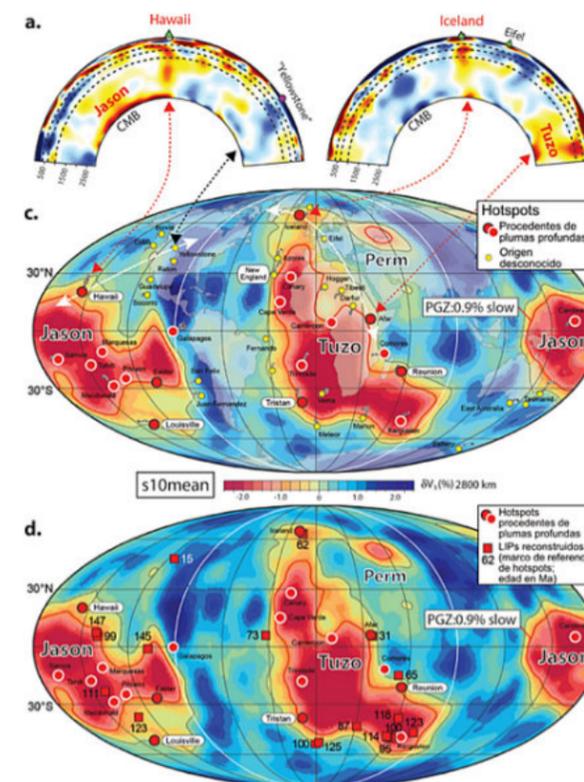


Figura 2. Anomalías de velocidad de las ondas de corte ( $\delta V_s$ ) de dos secciones en 2D (a y b) indicadas dentro de (c), y que atraviesan tanto el hotspot de Hawái e Islandia. En la figura 3c y 3d se representa la  $\delta V_s$  a una profundidad de 2,800 km (i.e., límite manto-núcleo) con la distribución de hotspots interpretados como procedentes de plumas profundas y de origen desconocido (c), así como 20 hotspots clasificados como primarios y comparados con las grandes provincias ígneas (d), reconstruidas a partir de un marco de referencia global de movimientos de hotspots sobre las provincias Tuzo y Jason (para más detalle ver el texto y el trabajo de Torsvik et al., 2016). PGZ: *plume generation zone*. Imagen modificada y traducida de Torsvik et al. (2016).

**Una breve discusión: los dos bandos.**

Quisiera partir de lo siguiente, que la discusión sobre la convección del manto requiere de un pensamiento crítico y dialéctico. Las evidencias, modelos y confrontaciones, no son poca cosa, por el contrario, contienen chispazos de luz sobre el entendimiento del fenómeno de la convección y por ende del mecanismo que gobierna a la Tectónica y el vulcanismo intraplaca. Para comprobar esto, basta observar la escuela de pensamiento que en los últimos 20 años se ha opuesto a la convección “clásica” de circulación global (Foulger et al., 2005; 2022; Foulger, 2010).

Mientras la tomografía sísmica sigue siendo un importante “visualizador” de la dinámica del interior del manto, como se observa en la figura 3, una región de convergencia donde una litósfera oceánica se introduce (Figura 3A) y otra manifiesta una “anomalía térmica” (Figura 3B); es importante recalcar que, aún existen consideraciones que es menester meditar. Por ejemplo, que las diferencias de las anomalías de velocidades (i.e., tonos de azules y rojos en las tomografías sísmicas) no son o representan lo

mismo en todo el manto, debido al abrupto cambio mineralógico entre el manto superior e inferior, de polimorfos del olivino a ringwoodita, no permitiendo interpretar a los elementos que vemos en las anomalías como una o varias unidades continuas.

Existen tres modelos desde los 2000s que sintetizan el conocimiento sobre la dinámica del interior de la Tierra: (1) el modelo de los “tres tipos de plumas” de Courtillot et al. (2003) (Figura 4a); (2) el modelo “Andersoniano” de Anderson et al. (2005) (Figura 4b); y (3) el modelo “Burkiano” de Torsvik et al. (2016) (Figura 4c). De estos tres modelos, los últimos dos conforman los dos bandos en discusión, aquellos que soportan la idea de una circulación local dominada en el manto superior, y los que apoyan sus evidencias en la circulación global de la convección del manto, respectivamente. Asimismo, podríamos decir que mientras las evidencias geológicas y geoquímicas soportan más la idea una convección solo en el manto superior, los datos arrojados por la geofísica se inclinan más por la circulación global que incluye a todo el manto.

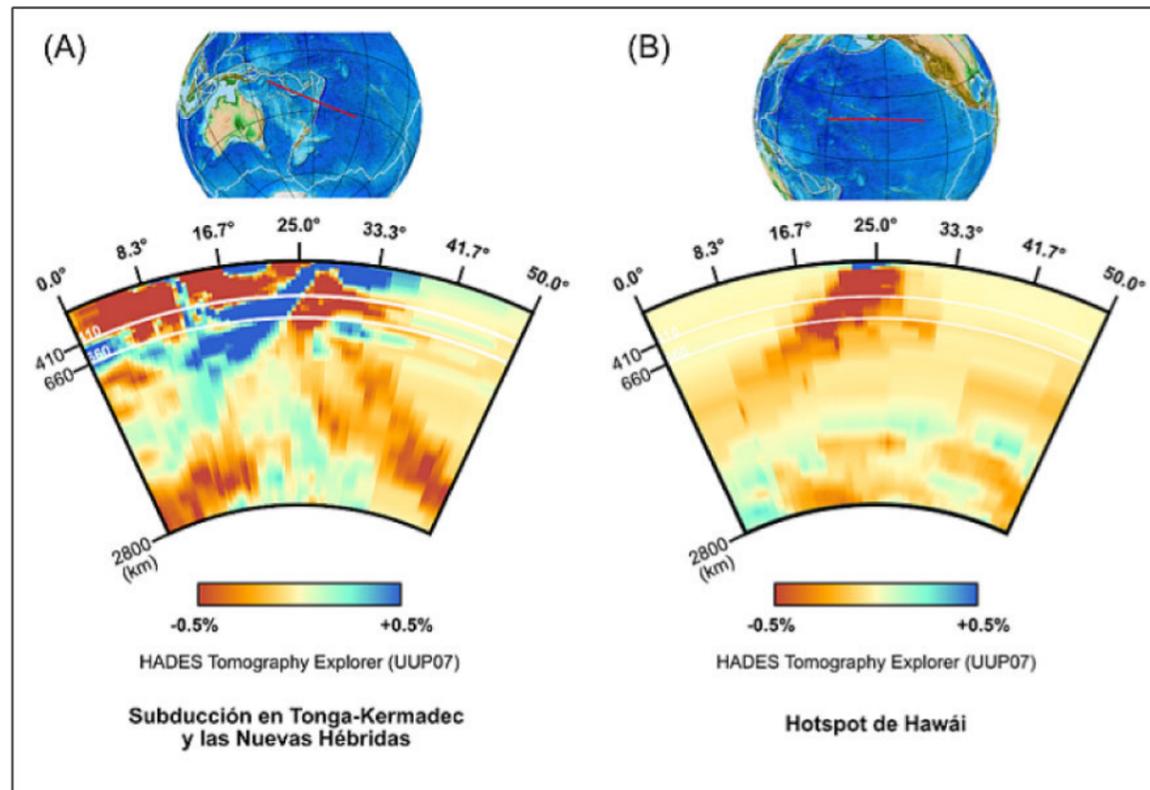


Figura 3. Tomografías sísmicas del manto mostrando las regiones del (A) límite convergente de Tonga-Kermadec y las Nuevas Hébridias, y el (2) hotspot de Hawái; estos, a partir del software en línea de “Hades underworld explorer” (<https://www.atlas-of-the-underworld.org/>). Las proyecciones ortográficas en la parte superior muestran la ubicación del perfil de 50° de arco de cada tomografía sísmica.

El modelo “Burkiano” parece soportar mejor las robustas evidencias geofísicas que van desde las tomografías sísmicas hasta las reconstrucciones de las placas principales con base en un marco de paleomagnetismo (Torsvik et al., 2016). Pero, en donde este modelo encuentra sus limitantes, el modelo Andersoniano parece ser más flexible y resolver los casos tectónicos más complicados, tal es el caso de Islandia, que es considerado un hotspot, pero las evidencias geofísicas no dan tal sustento, concluyéndose un modelo “personalizado” que explique las distintas evidencias geológicas y geofísicas dentro de un marco tectónico (Foulger et al., 2022). Esto nos muestra algo evidente, que la balanza de los modelos tendrá contrapesos dependiendo del sitio de estudio, e incluso de su historia tectónica; porque, lo que podría explicarse en una placa con un modelo Burkiano, para cierto periodo de tiempo geológico, podría explicarse con un modelo Andersoniano, como el vulcanismo intraplaca

producido en Yellowstone (Christiansen et al., 2002; Yuan et al., 2005).

El equilibrio entre los modelos Burkiano y Andersoniano, o un modelo híbrido o articulado, o la evolución de uno a otro dentro de un mismo escenario tectónico, podría explicarse bajo la sencilla consideración de que las condiciones físicas del manto no han sido las mismas durante el Fanerozoico, y mucho menos para el Proterozoico y Arqueano (van Hunen, 2019). Esto nos hablaría de que cabría la posibilidad de que en algún periodo del Fanerozoico el manto pudo haber tenido la dinámica de una convección global sin las diversas capas límites térmicas o composicionales que hoy en día tiene. En otras palabras, actualmente, quizá las plumas del manto no sean del todo observables o justificables, pero ¿y si para el Proterozoico o inicios del Fanerozoico si fueron un fenómeno preponderante en la dinámica del interior de la Tierra y aún quedan remanentes de está dinámica?

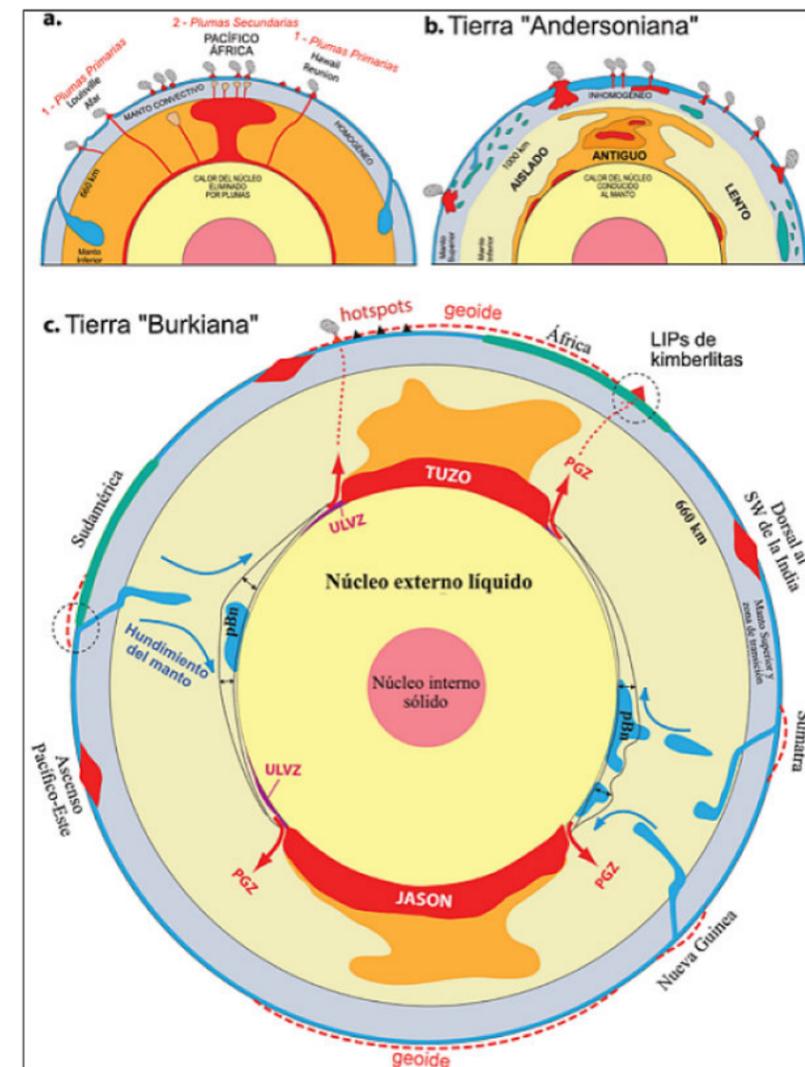


Figura 4. Dinámica del interior de la Tierra de acuerdo a (a) Courtillot et al. (2003), con tres tipos de hotspots (1) plumas primarias provenientes del manto profundo, (2) plumas secundarias provenientes de la interfaz manto superior-inferior, (3) hotspots superficiales Andersonianos. (b) La Tierra Andersoniana donde el manto inferior y superior no tienen conexión y los hotspots son de origen superficial. (c) El modelo de la Tierra Burkiana, una Tierra de grado dos, gobernada por las dos pilas termoquímicas antipodales de Tuzo y Jason, de las que proceden las plumas del manto en sus bordes. Las regiones rojas y anaranjadas indican regiones más calientes, respectivamente, que el resto del manto amarillo. pBn: post-bridgmenita; ULVZ: ultra-low velocity zones. Imagen modificada y traducida de Torsvik et al. (2016).

## Conclusión

El tema de la convección del manto sigue en la mesa de debate. La acumulación de datos geológicos y geofísicos siguen proveyendo “tela que cortar”, tanto para el bando del modelo Burkiano, como del modelo Andersoniano. Mientras se ajustan conceptos y evidencias de un modelo u otro, la convección del manto en algunas partes de la Tierra parece explicar diversos fenómenos tectónicos, ya sea bajo el caso de circulación global, o bajo el flexible modelo de circulación local, esto es, que sólo involucra al manto superior. Pero, como en todas las revoluciones científicas, hay detractores de las teorías. No obstante, algunas regiones del planeta posiblemente sean la pieza clave para proponer un modelo híbrido o articulado entre los modelos Burkiano y Andersoniano, dándonos una fresca idea de una convección del manto que gobierna en el espacio y el tiempo a la Tectónica y el vulcanismo intraplaca.

## Referencias citadas.

- Anderson, D. L. (2001). Top-Down Tectonics? *Science*, 293, 2016–2018. <https://doi.org/10.1126/science.1065448>
- Bercovici, D., & Mulyukova, E. (2021). Mantle Convection. In H. K. Gupta (Ed.), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics* (pp. 1059–1079). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58631-7\\_130](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58631-7_130)
- Burke, K. (2011). Plate Tectonics, the Wilson Cycle, and Mantle Plumes: Geodynamics from the Top. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39(1), 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152521>
- Christiansen, R. L., Foulger, G. R., & Evans, J. R. (2002). Upper-mantle origin of the Yellowstone hotspot. *GSA Bulletin*, 114(10), 1245–1256. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2002\)114<1245:UMOOTY>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2002)114<1245:UMOOTY>2.0.CO;2)
- Davies, G. F. (2022). *Stories from the Deep Earth* (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91359-5>
- Dietz, R. S. (1961). Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor. *Nature*, 190(4779), 854–857. <https://doi.org/10.1038/190854a0>
- Dilek, Y., & Furnes, H. (2014). Ophiolites and Their Origins. *Elements*, 10(2), 93–100. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.2.93>

- Downes, H. (2021). Ultramafic Rocks. In D. Alderton & S. A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (pp. 69–75). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12478-9>
- Foulger, G. R. (2010). *Plates vs. Plumes: A Geological Controversy*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444324860>
- Foulger, G. R., Gernigon, L., & Geoffroy, L. (2022). Icelandia. In *In the Footsteps of Warren B. Hamilton: New Ideas in Earth Science*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2021.2553\(04\)](https://doi.org/10.1130/2021.2553(04))
- Foulger, G. R., Hamilton, L. C., Jurdy, D. M., Stein, C. A., Howard, K. A., & Stein, S. (Eds.). (2022). *In the Footsteps of Warren B. Hamilton: New Ideas in Earth Science*. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE553>
- Foulger, G. R., Natland, J. H., Presnall, D. C., & Anderson, D. L. (2005). *Plates, plumes and paradigms*. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE388>
- Frankel, H. R. (2012). *The Continental Drift Controversy: Volume 1: Wegener and the Early Debate* (Vol. 1). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9780511842368>
- Garnero, E. J., Thorne, M. S., McNamara, A., & Rost, S. (2007). Fine-Scale Ultra-Low Velocity Zone Layering at the Core-Mantle Boundary and Superplumes. In D. A. Yuen, S. Maruyama, S.-I. Karato, & B. F. Windley (Eds.), *Superplumes: Beyond Plate Tectonics* (pp. 139–158). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5750-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5750-2_6)
- Grand, S. P., Hilst, R. D. van der, & Widiyantoro, S. (1997). High resolution global tomography: a snapshot of convection in the Earth. *Geological Society of America TODAY*, 7(4). [https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/7573#.X\\_f7dv-g1Ro.mendeley](https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/7573#.X_f7dv-g1Ro.mendeley)
- Hess, H. H., Engel, A. E. J., James, H. L., & Leonard, B. F. (1962). History of ocean basins. In A. E. J. Engel, H. L. James, & B. F. Leonard (Eds.), *Petrologic Studies: A volumen in honor of A. F. Buddington*. The Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/Petrologic.1962.599>
- Holmes, A. (1928). Theory of Continental Drift: a Symposium on the Origin and Movement of Land Masses, both Inter-Continental and Intra-Continental, as proposed by Alfred Wegener.

*Nature*, 122(3073), 431–433. <https://doi.org/10.1038/122431a0>

Karato, S.-I. (Ed.). (2013). *Physics and Chemistry of the Deep Earth*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118529492>

McCoy, T. J. (2021). Meteorites. In D. Alderton & S. A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (pp. 174–184). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11841-X>

Morgan, W. J. (1971). Convection Plumes in the Lower Mantle. *Nature*, 230(5288), 42–43. <https://doi.org/10.1038/230042a0>

Torsvik, T. H., Steinberger, B., Ashwal, L. D., Doubrovine, P. v., & Trønnes, R. G. (2016). Earth evolution and dynamics—a tribute to Kevin Burke. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(11), 1073–1087. <https://doi.org/10.1139/cjes-2015-0228>

Torsvik, T. H., van der Voo, R., Doubrovine, P. v., Burke, K., Steinberger, B., Ashwal, L. D., Trønnes, R. G., Webb, S. J., & Bull, A. L. (2014). Deep mantle structure as a reference frame for movements in and on the Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24), 8735. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318135111>

Turcotte, D., & Schubert, G. (2014). *Geodynamics* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843877>



**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

van Hunen, J. (2019). Onset and Evolution of Plate Tectonics: Geodynamical Constraints. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10861-9>

van Keken, P. E., Hauri, E. H., & Ballentine, C. J. (2002). Mantle Mixing: The Generation, Preservation, and Destruction of Chemical Heterogeneity. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 30(1), 493–525. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.30.091201.141236>

Vine, F. J., & Matthews, D. H. (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 199(4897), 947–949. <https://doi.org/10.1038/199947a0>

Wegener, A. (1912). Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, 3(4), 276–292. <https://doi.org/10.1007/BF02202896>

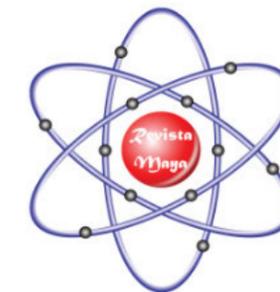
Yuan, H., & Dueker, K. (2005). Teleseismic P-wave tomogram of the Yellowstone plume. *Geophysical Research Letters*, 32(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2004GL022056>

## Páginas de internet citadas y recomendadas.

- <https://www.atlas-of-the-underworld.org/>
- <http://www.mantleplumes.org/>
- <https://www.iodp.org/>
- <https://www.icdp-online.org/home/>

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



# MISCELÁNEOS

**Dios de la Muerte Violenta y de los Sacrificios Humanos**



Esta deidad aparece 33 veces en los códices y se presenta siempre en relación con la muerte. Su característica constante es una línea negra que le rodea parcialmente el ojo y se prolonga hacia abajo sobre la mejilla. Su propia cabeza, con el número 11 enfrente, es el jeroglífico de su nombre. Puede ser el patrono del día maya Manik, cuyo signo es la mano en actitud de agarrar. Se le muestra algunas veces en compañía de Ah Puch, el dios de la muerte, en escenas de sacrificios humanos. Es también un dios de la guerra por derecho propio, y se le ve incendiando casas con una antorcha en una mano, mientras que con la otra, armada de una lanza, las echa por el suelo. El concepto de un dios de la guerra y de un dios de la muerte mediante la violencia y los sacrificios humanos, parecen combinarse en esta deidad.

## Museo Nacional de Historia Natural, Chile

**Haz click en la imagen**



# La casa de las Penínsulas

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_peninsulas](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_peninsulas)

<https://www.worldatlas.com/articles/what-is-a-peninsula.html>

<https://earthclipse.com/geography/peninsula-landform-formation-examples.html>

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/peninsula/#:~:text=A%20peninsula%20is%20a%20piece,%2C%20Geology%2C%20Geography%2C%20Physical%20Geography>

<https://www.1worldglobes.com/glossary-geographic-oceanographic/>

<https://www.youtube.com/watch?v=88IDnJ8rinY>



# Earth Day



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

EARTH DAY HISTORY: <https://www.history.com/topics/holidays/earth-day>

NASA CELEBRATES EARTH DAY: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-celebrates-earth-day-with-every-nasaearthling>

DIA INTERNACIONAL DE LA MADRE TIERRA (NACIONES UNIDAS): <https://www.un.org/es/observances/earth-day>

DIA DE LA TIERRA: NATIONAL GEOGRAPHIC: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/datos-del-dia-de-la-tierra-por-que-se-celebra-donde-empezo>

DIA DE LA TIERRA: WIKIPEDIA: [https://ast.wikipedia.org/wiki/D%C3%AD\\_a\\_de\\_la\\_Tierra](https://ast.wikipedia.org/wiki/D%C3%AD_a_de_la_Tierra)



## Tesis selectas presentadas en Universidad Nacional Autónoma de México en 2020

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

**Simulación del funcionamiento del telescopio de muones instalado en C.U., CD.MX.**  
Pérez Villanueva, José Karl

**Choques heliosféricos :simulaciones y observaciones**  
Preisser Rentería, Luis Federico

**Métodos de exploración geofísica somera aplicados para la caracterización de inhumaciones: caso experimental y real**  
Quiroz Suárez, Diego

**Tiempos de emplazamiento en flujos de lava :casos de estudio de los volcanes Rancho Seco (Michoacán) y Popocatepetl (puebla)**  
Ramírez Uribe, Israel

**Análisis e interpretación de la jerarquía estratigráfica de depósitos lobulares de aguas profundas usando la transformada de ondícula: caso de estudio : depósitos de la Formación Chicontepec**  
Ramos Pineda, Raydel

**Litología de superficie del lecho marino con base en imágenes de retrodispersión acústica en la región norte de los Doms Salinos de Campeche, Golfo de México**  
Reyes Díaz, Jessica Jazmín

**Reconstrucción de la historia eruptiva de los flujos de lava del malpaís de zacapu (Michoacán):reología, dinámica y tiempo de emplazamiento**  
Reyes Guzmán, Nanci

**Análisis de la evolución espacio-temporal del balance hidrogeológico en la zona norte del estado de Quintana Roo**  
Salas Rodríguez, Oscar Mario

**Análisis estructural a partir de datos aeromagnéticos en la Brecha de Guerrero: deconvolución de Euler 3D contra espectro radial de potencias**  
Salazar Macías, Edna Ashera

**Modulación de los rayos cósmicos detectada por el observatorio HAWC**  
Santiago Hernández, Alberto

**Reflexión sísmica pasiva de microtemores en la exploración de yacimientos no convencionales**  
Solano Bahena, René

**Espectroscopía raman :tratamiento de ruido asociado con fluorescencia**  
Soto Alexander, Víctor Manuel

**Estudio de cráteres de impacto planetarios y su material de eyección con base en modelos de impacto de baja velocidad**  
Suárez Cortés, Álvaro Daniel

**Análisis de registros geofísicos y propiedades petrofísicas del pozo Chicxulub-03A**  
Torres Acosta, José Alfredo

**Morfología del talud continental a lo largo de la costa de Jalisco: implicaciones tectónicas y cinemáticas**  
Urias Espinosa, Jaime

**Optimación del método de proyección variacional para el modelado de ondas sísmicas**  
Vargas Zamudio, Kevin Axel

**Estructura cortical somera de la faja volcánica transmexicana (parte oriental)**  
Vázquez Domínguez, Carlos

**Re-procesamiento y migración pre-apilamiento en tiempo 2D terrestre**  
Vázquez Ramírez, Diana

## GEOLATINAS

<https://geolatinas.org/>

¡Hola MÉXICO! ¡GeoLatinas estará presente en el Tierra Fest 2022 en el Centro Histórico de la Ciudad de México este 7 de mayo! ¡Y será el momento adecuado para el lanzamiento del Museo GeoViajero!

¿En qué consiste?

El Museo GeoViajero es parte de una iniciativa de GeoLatinas que se llevará a cabo en México por primera vez.

Se trata de una maleta que viaja entre festivales, comunidades y eventos con el objetivo de divulgar el amor, conocimiento y diversidad de las Ciencias de la Tierra.

En su interior contiene colecciones de minerales, rocas, fósiles e instrumentos para su observación además de materiales didácticos físicos y virtuales que ayuden a promover el interés y las vocaciones profesionales relacionadas con las Geociencias. Iniciativa dirigida a todo tipo de público! No se lo pierdan!

**VIAJANDO  
CON  
CIENTÍFICOS  
+ MUSEO GEOVIAJERO**

**TIERRA  
FEST 2022**

Búsqueda del tesoro dónde los participantes descubrirán maravillas geológicas. El recorrido termina con una visita al Museo GeoViajero, una maleta que viaja entre comunidades con el objetivo de divulgar el amor, conocimiento y diversidad de las Ciencias de la Tierra.

**CENTRO CULTURAL DE ESPAÑA EN MÉXICO**

**7 DE MAYO | 2:30 a 4 PM**

# Caverna del arte

## MARIPOSA DE VUELO INTACTO

Mariposa de vuelo intacto  
surcando el viento en bucles  
y despistado andar apasionado  
un respirar, un aleteo y sonríes

¿cómo no inspirarme en tu andar?  
pareces haber calculado el viento  
apareces y desapareces al  
atardecer  
artista del paisaje y el momento.

Un aleteo más y me vuelves  
huracán  
contenta de tu trayectoria  
besos con alas  
sabia escultura en tu quietud.

¿En dónde te has posado...?

*Pablo Anatexis*

Torre de la Misión San Xavier del Bac fundada por los Españoles en 1692. Se ubica al Sur de la Ciudad de Tucson, Arizona. Fotografía de Claudio Bartolini.



## 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.

**Pozo Exploratorio en nuevo Campo:** Pozos que se perforan en trampas estructurales, estratigráficas o mixtas, de las cuales se conocen las características generales de la geología del subsuelo. El objetivo de estos Pozos es descubrir Yacimientos ubicados en áreas donde no se ha establecido producción de Hidrocarburos.

**Pozo Exploratorio en nuevo Yacimiento:** Pozos que se perforan en trampas estructurales, estratigráficas o mixtas, de las cuales se conocen las características geológicas del subsuelo. Estos Pozos tienen como objetivo descubrir yacimientos en áreas donde ya se tienen Campos productores y se estima la posibilidad de encontrar una nueva acumulación de hidrocarburos en bloques vecinos a estructuras o Campos ya descubiertos.

**Pozo evaluador de Yacimiento más profundo:** Pozos que se perforan con el objetivo de encontrar un horizonte productor estratigráfico o estructuralmente más profundo que el Yacimiento conocido.

**Pozo evaluador de Yacimiento menos profundo:** Pozos que se perforan con el objetivo de encontrar un horizonte productor estratigráfico o estructuralmente menos profundo que el Yacimiento conocido.

**Exitoso:** Pozos perforados y terminados como Inyectores, de Alivio o Estratégicos, que cumplieron con el propósito para los cuales fueron programados.

**Seco:** Pozos perforados en los cuales no se recuperen fluidos durante las pruebas de producción o aquellos que con base en el análisis de los registros geofísicos se observen estratos compactos o arcillosos.

**Invasado por Agua:** Pozos perforados en los cuales mediante pruebas de producción o formación se recupere agua salada o bien que mediante análisis de registros geofísicos se determinen altas saturaciones de agua.

**Productor no comercial:** Pozos perforados en los cuales mediante pruebas de presión – producción se registren volúmenes de Hidrocarburos cuya extracción no sea rentable al momento de la Clasificación del Pozo.

**No exitoso:** Pozos perforados como Inyectores, de Alivio o Estratégico que lograron éxito mecánico, pero no cumplieron con el objetivo para los cuales fueron programados.

**Accidente mecánico:** Pozos con problemas mecánicos de cualquier índole durante la Perforación, Terminación, reparación o Conversión, que impiden alcanzar los objetivos programados.

Clasificación de pozos petroleros en México tomado de: Comisión Nacional de Hidrocarburos. (Octubre 14, 2016). LINEAMIENTOS de Perforación de Pozos. abril 6, de Diario Oficial de la Federación Sitio web: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5456836&fecha=14/10/2016](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5456836&fecha=14/10/2016)



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.

**PARA TODOS AQUELLOS QUE TIENEN QUE ESCRIBIR TESIS, DISERTACIONES, REPORTES TÉCNICOS, Y PUBLICACIONES CIENTÍFICAS, LA SIGUIENTE LISTA DE APLICACIONES “OPEN SOURCE” FUERON IDENTIFICADAS POR:**

**DR. JORDI TRITLLA CAMBRA**

**Para imágenes:**

Rawtherapee: [www.rawtherapee.com](http://www.rawtherapee.com)

Irfanview: <https://www.irfanview.com/>

XnViewMP: <https://www.xnview.com/en/xnviewmp/>

**Estadística:**

Past4: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>

**Open Geoscience:**

<https://github.com/softwareunderground/awesome-open-geoscience>

**Para GIS:**

GIS: <https://grass.osgeo.org>

**Administradores de Referencias:**

Jabref: <https://www.jabref.org>

Zotero: <https://www.zotero.org>

Mendeley: <https://www.mendeley.com/>

**SALAR DE UYUNI**

Salar de Uyuni is the worlds largest salt flat, spanning 4086 square miles (10,582 sq. km) in south-western Bolivia. Unlike traditional deserts, which have sand in abundance, the Salar de Uyuni features vast expanses of glistening white salt. The landscape is entirely flat, bar a few small ‘islands’ such as Isla Incahuasi, which only accentuates its surreal beauty. Underneath the cemented salt are large reservoirs of lithium-rich brine. In fact, approximately 70% of the world’s lithium reserves are found in Salar de Uyuni and thus it’s not surprising that there’s an entire industry devoted to its extraction. Unlike any other place on earth, the Salar de Uyuni is breathtakingly beautiful and provides an extraordinary experience that will not be quickly forgotten.

<https://www.salardeuyuni.com/info/>

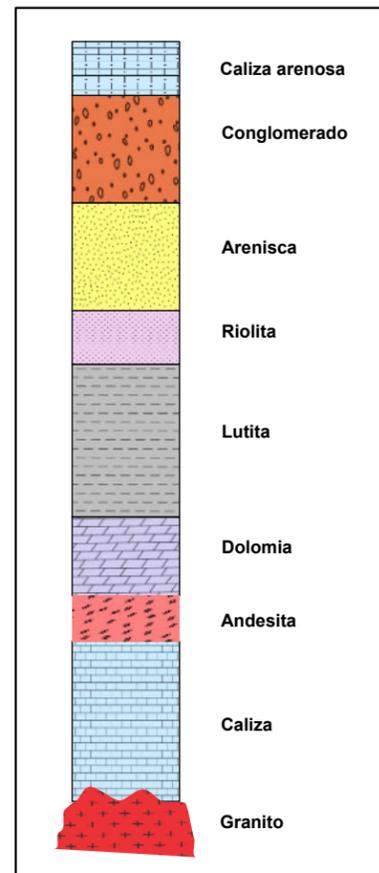
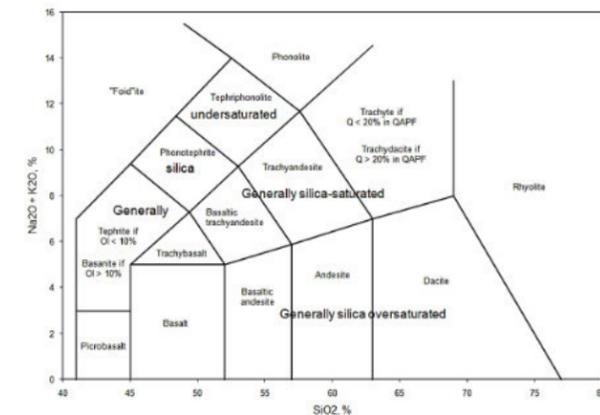
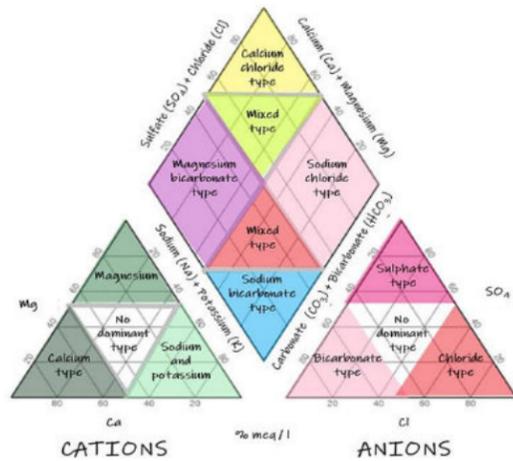
<https://duckduckgo.com/?q=salar+de+uyuni+interesting+facts&t=ffab&atb=v141-1&iax=images&ia=images>

<https://www.youtube.com/watch?v=1vPMD3wmaZo>

Compilado por Nimio Tristán,  
Geólogo,  
Houston, Texas



**EJEMPLOS DE ILUSTRACIONES**



# OCEAN DRILLING PROGRAM (ODP)

<http://www-odp.tamu.edu/>

<http://www.odplegacy.org/>

<http://www.iodp.org/>

<http://www-odp.tamu.edu/odpwww.htm#joides>

ODP Search Database Drilling Publications Science & Curation Cruise Info. Staff Mirrors



- Legs 100-210 general information
- Leg participant postcruise info
- Request core data/photos
- Request core samples
- Meeting information
- JOIDES Resolution
- ODP/DSDP site maps
- Photos from ODP legs
- ODP & IODP related sites
- Public & media information
- Index of ODP/TAMU web site
- Human resources & employment

Ocean Drilling Program, Texas A&M University, 1000 Discovery Dr., College Station TX 77845, USA | (979) 845-2673

OCEAN DRILLING PROGRAM LEGACY CONSORTIUM FOR OCEAN LEADERSHIP



Program administration  
Scientific results  
Engineering & science operations  
Samples, data, & publications  
Outreach  
FINAL TECHNICAL REPORT  
Overview

**Notice:** See the COVID Mitigation Protocols Established for Safe JR Operations (COPE). For information about the 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) and COVID-19, please see the Texas A&M University Coronavirus Update site.

Program Administration | Scientific Results | Engineering & Science Operations  
Samples, Data, & Publications | Outreach | Site map | Search | Privacy

For comments or questions: [webmaster@iodp.tamu.edu](mailto:webmaster@iodp.tamu.edu)  
Copyright Consortium for Ocean Leadership  
Funded by the National Science Foundation



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/>





Pieza de Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA