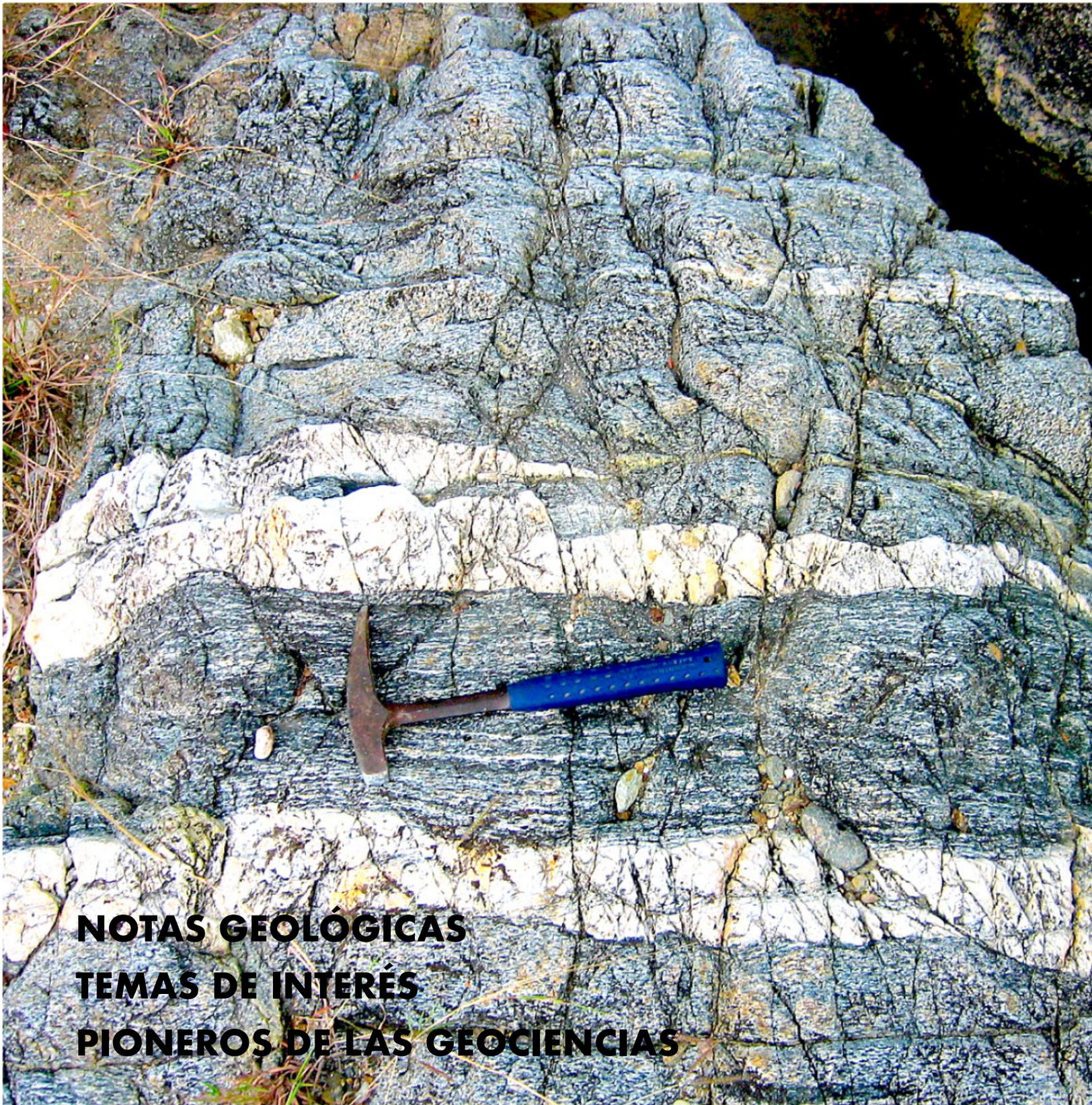


**FEBRERO  
2022**



# **MAYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



**NOTAS GEOLÓGICAS  
TEMAS DE INTERÉS  
PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS**

FEBRERO  
2022



# MAYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

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

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

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

**Portada de la revista:** Anfíbolitas bandeadas del Complejo Anfíbolítico Mabujina, Río Yayabo, Cuba central. Inyectadas por venas de aplopegmatitas. N 21 56 21.3 W 79 32 28.2. Autor: Fotografía de Yamirka Rojas Agramonte.

**Revista Maya:** Revista Maya de Geociencias was originally created with the aim of supporting students and young professionals in the earth sciences, as well as the geoscience communities of the Americas.

The fundamental conception was a magazine that would cover a wide range of earth science themes with a general focus on the western hemisphere for an audience with varied experience in geology and related disciplines. The Magazine is independent and not associated with any geological society or investigative institution, although informal connections have been established with geoscientific associations around the world.

The RMG is prepared by four editors and six collaborators, all volunteers, who are responsible for the compilation, organization and presentation design of the information. It is published monthly with contributions in either Spanish and English.

The Revista is distributed by electronic mail, LinkedIn and Facebook, and plans exist for a webpage where the geoscience community can download the Revista in the future.

The Revista Maya de Geociencias (RMG) includes, among other topics, a section entitled "Geological Notes" wherein manuscripts sent by geoscientists from different parts of the world are published.

With this issue, eight numbers of the Magazine have been distributed and it has achieved wide acceptance by our readers, with a flow of contributions for future issues. Contributions and commentary for the editors are always welcome.

Revista de divulgación  
Geocientífica

# EDITORES



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

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

[luis.valencia.11@outlook.com](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)



**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)

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/>

### 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.

## Visítanos en Facebook

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



**MEXICO PETROLEUM  
GEOSCIENCE**

Grupo público · 1,5 mil miembros

Miembro ▼

+ Invitar

# REVISTA MAYA

## El primer aniversario

*"El paso de ser poseído por las ideas a ser poseedor de ellas se logra con un instrumento llamado libertad"*

José Abraham Ríos

*"The glory of friendship is not the outstretched hand, nor the kindly smile, nor the joy of companionship; it is the spiritual inspiration that comes to one when you discover that someone else believes in you and is willing to trust you with a friendship"*

Ralph Waldo Emerson

Si algo caracteriza a la creación y continuidad de la Revista Maya de Geociencias, son la libertad y la amistad. Un proyecto que comenzó con una bandada de ideas que fueron transformándose en pedazos de texto, imágenes y recuerdos de las Ciencias de la Tierra a través de colegas de distintas generaciones y trasfondos. La piedra angular de la revista: ser un espacio sin fines de lucro en el que las distintas generaciones de colegas en Ciencias de la Tierra de Latinoamérica y el mundo, pudiesen compartir sus experiencias, ideas e hipótesis, síntesis de publicaciones, fotos inéditas de afloramientos y petrografía, y demás miscelánea sobre las geociencias.

Fue a través de la ejecución en medio de la pandemia de la COVID-19, que hace ya un año se editó el primer número de la revista, cuyo nombre inicial fue *Revista Chortís de Geociencias*. Para ese entonces, en febrero de 2021, una aventura comenzó con un número que apenas publicaba la recomendación de artículos, tesis, páginas web de interés, y fotografías de afloramientos. Para el número de marzo se decidió cambiar el nombre de la revista a: *Revista Maya de Geociencias*, su nombre actual, que dio un giro a la idea de una cultura milenaria, esplendorosa y vigente, que enlaza el pasado y el presente; dándole así sustantividad e identidad a nuestro quehacer en la revista: enlazar a las nuevas y viejas generaciones de geocientíficos.

Mes con mes, a través de cada número, hemos disfrutado de grandiosas aportaciones realizadas tanto en español como en inglés por distintos amigos y colegas de la comunidad de geociencias. Desde admirables semblanzas de geocientíficas y geocientíficos; hasta las valiosísimas notas geológicas, como el empleo de herramientas de exploración y cartografía, sedimentología, sismología, astrogeología, tectónica, riesgo geológico, cambio climático, geología estructural, petrología metamórfica, geoturismo, yacimientos minerales, geología del petróleo, geotermia, entre muchos otros temas. Además, paso a paso, la revista ha evolucionado y se han añadido secciones como la recomendación de libros, páginas de museos, software libre especializado, glosario geológico, notas sobre pioneros de la geología, sección de arte, y hasta una continua sección de los tipos de energías (geotérmica, eólica, etc.). Pero todo esto ha sido posible gracias al esfuerzo de cada autor y colaborador que han hecho de esta revista números inestimables.

Por ello, de parte de los editores, nos es grato dedicarles esta página a nuestros lectores, autores y colaboradores de Latinoamérica y el mundo; asimismo, agradecerles por cada momento, comentario, crítica y aportación, que han hecho de la *Revista Maya de Geociencias* una revista de libertad y amistad para toda nuestra comunidad de geociencias. Que este año 2022 este colmado de más números llenos de anécdotas, notas geológicas, fotografías y demás material, hecho por ustedes y para ustedes, que será invaluable para nuestra comunidad en las Ciencias de la Tierra.

Atentamente.

Los Editores.

# REVISTA MAYA

## The First Anniversary

*"The passage from being possessed by ideas to becoming their owner happens through the instrument of liberty"*

José Abraham Ríos

*"La gloria de amistad no es la mano extendida, ni la sonrisa benigna, ni el regocijo del compañerismo; sino es la inspiración espiritual que llega cuando uno descubre que alguien le cree y tiene la voluntad de confiar en su amistad."*

Ralph Waldo Emerson

If anything characterizes the creation and continuity of the *Revista Maya de Geociencias*, it is liberty and friendship. The project began with several ideas from the Earth Sciences transformed into text, images and memories by colleagues of different generations and backgrounds. The key purpose of the magazine is as a non-commercial venue where different generations of colleagues from Latin America and around the world might share their experiences, ideas and hypotheses; and synthesize their publications, unpublished outcrop and petrographic photos and other miscellaneous geoscientific items.

A year ago, amidst the COVID-19 pandemic, the first issue of the magazine appeared and was initially named the *Revista Chortís de Geociencias*. At that time (February 2021) this adventure began as an issue with articles, theses, interesting web sites and outcrop photographs. In March we changed the name of the magazine to *Revista Maya de Geociencias* in order to reflect the concept of that splendid millennial culture, tying the past to the present and providing substance and identity to the magazine by linking a new generation of geoscientists to those that went before.

Month after month, with each issue, we have accepted contributions in both Spanish and English from distinguished friends and colleagues in the geoscience community. Ranging from biographical sketches of admirable geoscientists through a cornucopia of geological observations related to mapping, sedimentology, seismology, astrogeology, tectonics, geological risk, metamorphic petrology, structural geology, climate change, geotourism, mineral deposits, petroleum geology and geothermal energy, among others. Furthermore, the magazine has evolved with sections added, such as recommendations for books, museum web sites, free software, a glossary of geological terms, notes on pioneers in geology, an art section, and articles on alternative energy sources (geothermal, wind, etc.). This has all been possible thanks to the efforts of authors and collaborators who have made each issue of the magazine uniquely valuable.

Therefore, on behalf of the editors, it is our pleasure to dedicate this page to our readers, authors and collaborators in Latin America and around the world, and to thank them for their comments, criticisms and contributions to the *Revista Maya de Geociencias*, a magazine dedicated to liberty and friendship within our geoscience community. May this year of 2022 be filled with new issues of value to our Earth Science community filled with anecdotes, geological notes, photographs and other material received from, and given to, our readers.

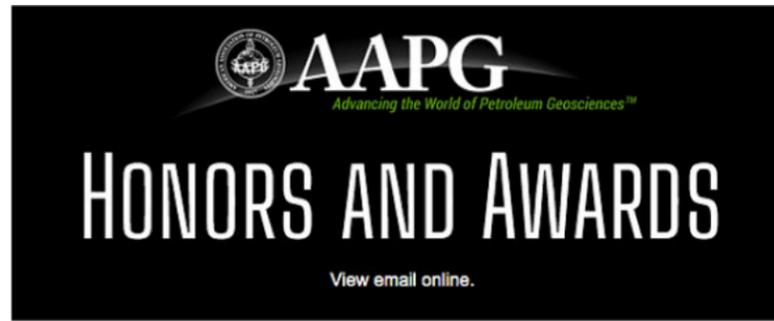
The Editors

# FELIZ



# ANIVERSARIO





## Announcing the New AAPG Honorees

The AAPG Executive Committee has approved this year's AAPG honors and award recipients, recognizing individuals for service to the profession, the science, the Association and the public.

The awards will be presented during IMAGE '22.

This year's honorees are:

- **SIDNEY POWERS MEMORIAL AWARD**
  - John Clay Lorenz, President, FractureStudies LLC, Edgewood, N.M.
- **MICHEL T. HALBOUTY OUTSTANDING LEADERSHIP AWARD**
  - John Richard Hogg, Skybattle Resources Ltd., Calgary, Canada
- **HONORARY MEMBER**
  - Edith Allison, Self-Employed, Rockville, Md.
  - Claudio Bartolini, Petroleum Exploration Consultants America, Tucson, Ariz.
  - William Baxter Harrison III, Western Michigan University, Kalamazoo, Mich.
  - Ione Taylor, Queens University, Kingston, Ontario, Canada
  - Sherilyn C. Williams-Stroud, Illinois State Geological Survey, Champaign, Ill.
- **NORMAN H. FOSTER EXPLORER AWARD**
  - Yongsheng Ma, SINOPEC, Beijing, China
- **ROBERT R. BERG OUTSTANDING RESEARCH AWARD**
  - Charles Kerans, University of Texas-Austin, Austin
  - Leslie Wood, Colorado School of Mines, Golden, Colo.
    - **DISTINGUISHED SERVICE AWARD**
      - David J. Entzminger, MDC Texas Energy, Gig Harbor, Wash.
      - Terra George, EOG, Midland, Texas
      - Amanda Haddad, BHP, Houston
      - Victor Ogunmola, ExxonMobil, Houston
      - James Painter, PaintMire, Houston
      - Michael Raines, MARs Exploration and Energy LLC, Midland, Texas
    - **GROVER E. MURRAY MEMORIAL DISTINGUISHED EDUCATOR**
      - Katherine A. Giles, University of Texas-EI Paso, El Paso
      - Marjorie Chan, University of Utah, Salt Lake City
    - **GEOSCIENCES IN THE MEDIA AWARD**
      - Toyin Akinosho, Festac News Press Ltd., Lagos, Nigeria
      - Albert Dickas, retired, Blacksburg, Va.
    - **YOUNG PROFESSIONALS EXEMPLARY SERVICE AWARD**
      - Hala Alwagdani, Utrecht University (Saudi Aramco), Utrecht, Netherlands
      - Heba Askar, Apache Egypt, Cairo, Egypt
      - David Eastwell, Ikon, Farnborough, England
      - Ricardo Vargas, Perenco, Bogota, Colombia

\*Technical award winners will be announced at a later date.



Best Regards,

Gretchen Gillis  
President, AAPG

# CONTENIDO FEBRERO 2022

Semblanzas.....	<a href="#">11</a>
Pioneros de las Geociencias.....	<a href="#">15</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">17</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">24</a>
Temas de interés.....	<a href="#">27</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">41</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">45</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">88</a>
La casa de los Tsunamis.....	<a href="#">89</a>
Glosario de términos geológicos.....	<a href="#">90</a>
El misterio de las cráteres explosivos: Siberia.....	<a href="#">91</a>
Tesis selectas presentadas en el Politecnico Nacional.....	<a href="#">92</a>
Fotografía del recuerdo: México.....	<a href="#">93</a>
Gráficas geológicas: Colega cubano.....	<a href="#">94</a>
Conferencia Internacional (AAPG): Cartagena, CO.....	<a href="#">95</a>
Caverna del arte.....	<a href="#">97</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">98</a>

# SEMBLANZAS

## Roberto S. Molina Garza: 1960-2021

El **Dr. Molina Garza** estudió la carrera de Ingeniería Geofísica, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, graduándose en 1984. Después de trabajar por unos años en exploración minera y petrolera, emigró a los Estados Unidos en 1986 donde recibió el grado de Doctor en Geología de la Universidad de Michigan, en Ann Arbor, en 1991 bajo la dirección del profesor Rob van der Voo. En 1992, invitado por la Organización para la Ciencia de los Países Bajos, realizó una estancia postdoctoral en la Universidad de Utrecht, en Holanda, con Hans Zijdeveld y en 1993 recibió la prestigiosa beca postdoctoral de la Fundación Ford, eligiendo como institución sede a la Universidad de Nuevo México, en Albuquerque, colaborando con John Geissman. Permaneció en el cuerpo académico del Departamento de Ciencias de la Tierra y Planetarias de la Universidad de Nuevo México hasta su repatriación a finales de 1999, cuando la UNAM le dio la oportunidad de integrarse al Instituto de Geofísica en la recién creada Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra en Juriquilla, Querétaro, hoy el Centro de Geociencias donde laboró.

El Dr. Molina laboró su investigación en el estudio de los minerales magnéticos y el registro del campo magnético en materiales geológicos, bajo la disciplina llamada Paleomagnetismo. Ésta es una de las disciplinas centrales a las geociencias, que crean un puente entre procesos internos del planeta y la dinámica de la litósfera. Además, el paleomagnetismo es la única técnica que permite establecer relaciones paleográficas cuantitativas en el pasado geológico. El Dr. Molina ha aplicado el paleomagnetismo en investigaciones para validar modelos paleogeográficos y tectónicos en el Paleozoico y Mesozoico en varias regiones del planeta. Sus contribuciones más importantes en el inicio de su carrera fueron a la definición de la curva de vagabundeo polar aparente de Norteamérica y al estudio de la magnetoestratigrafía del Permico-Triásico. En el contexto de tres controversias: el tiempo de adquisición de la magnetización remanente química de la magnetización química (Butler, 1998), la tasa de



vagabundeo polar en el Triásico (Kent y Witte, 1993; Molina Garza et al., 1995), y la rotación de la plataforma del Colorado (Bryan y Gordon, 1990). Los trabajos del Dr. Molina fueron fundamentales para la definición de la curva de vagabundeo polar de Norte América, lo cual es esencial para validar reconstrucciones tectónicas, paleogeográficas y paleoclimáticas así como modelos de true-polar wander (del vagabundeo polar verdadero) (Molina Garza et al., 1989; 1991; 1995; 1996; 1998; 2000; 2003). Por otro lado, la magnetoestratigrafía es uno de los pilares de la escala del tiempo geológico y vale resaltar las publicaciones de Molina-Garza et al., 1989 que establecieron el final del período Kiaman y publicaciones entre 1991 y 2003 que llevaron a establecer la GPTS del Triásico en ambientes no marinos. Esto llevó a trabajos para correlacionar la extinción del Pérmico terminal en ambientes marinos y no marinos por los trabajos de Molina, Lucas Kozur y Geissman en la sección de Dalongkou, China, patrocinada por National Geographic.

El trabajo de magnetoestratigrafía en el Triásico continúa con el proyecto multinacional del Colorado Plateau Drilling Project (Olsen et al. 2018). Otros de sus trabajos contribuyen a la mejor comprensión de los procesos que relacionan la magnetización en rocas sedimentarias con su

deformación y la migración de fluidos a través de ellas, un área que tiene importantes aplicaciones para el estudio de reservorios petroleros. Más recientemente, trabajos publicados en *JGR*, *Tectonics*, *EPSL*, *Geology*, *Geosphere*, *Tectonophysics* y revistas nacionales, han dirigido su investigación y la de sus estudiantes a entender la evolución tectónica de México y la región del Caribe en el Mesozoico y Cenozoico.

Su contribución más importante en esta línea de investigación fue aportar los primeros datos que validaron el modelo rotacional para el origen del Golfo de México. En las décadas de los 80 y 90's existía varios modelos para el origen del Golfo de México (e.g., Pindell, 1985; Anderson y Schmidt, 1983; Klitgord y Schouten, 1990). Las investigaciones del Dr. Molina en el Macizo de Chiapas y la Formación Todos Santos (Molina Garza et al. 1992; Godínez et al., 2011a, b; Molina Garza et al., en prensa; Pindell et al., en prensa) fueron cardinales para que el modelo de rotación respecto a un polo Euler en el este del Golfo fuera generalmente aceptado (Pindell and Kennan, 2009). El modelo rotacional fue recientemente validado de forma independiente por estudios de gravimetría satelital (Sandwell et al., 2014), pero fueron los trabajos del Dr. Molina los primeros con datos robustos para aceptar este modelo.

También relevantes son estudios de la evolución del NW de México (Molina Garza et al., 1996; 1999; 2014; y los estudiantes de doctorado asesorados por él como Chávez et al., 2006; García et al., 2014; Boschman et al., 2018 – independiente de la dirección de sus tutores). Otra contribución importante reciente son los datos paleomagnéticos y geocronológicos que establecen la relación del bloque Chortis con el sur de México. El modelo del truncamiento del margen sur de México en el Cenozoico llevó a una controversia (e.g., Keppie y Morán, 2005) que finalmente fue resuelta a favor del modelo original gracias a los trabajos del Dr. Molina (Molina Garza et al., 2012; 2015, 2019). El trabajo de este investigador es realmente multidisciplinario en las geociencias, haciendo contribuciones a la tectónica, estratigrafía, paleogeografía, geología estructural, geomagnetismo, magnetismo ambiental y la petrofábrica. Además ha publicado sobre aspectos geológicos en Norte y Centro América, México, Australia, Europa y Colombia y al menos 15 estados de la República Mexicana.

Durante su carrera científica ha realizado proyectos de investigación y trabajo de campo en el suroeste de los Estados Unidos y en el norte de México con apoyo del *National Science Foundation*, en el noroeste de China con apoyo de *National Geographic*, en el Australian Bight como participante del *Ocean Drilling Program*, con Mike Fuller, y en Sudamérica, colaborando con la Universidad de Buenos Aires. Ha realizado además estancias de investigación en la Universidad de Hawaii, la Universidad de Minnesota, el Potsdam Geoforschungszentrum, la Universidad de Texas en Dallas, y la Universidad Eafit.

Su trabajo es reconocido por sus nombramientos como Investigador Nacional (SNI 3), como miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, como Editor Asociado (*GSA Bulletin*, *Geology*, *Geosphere*) y árbitro de varias revistas, como miembro de la Subcomisión de Estratigrafía del Triásico (1996-2004), como evaluador de proyectos de NSF, como evaluador para UNESCO de World Heritage sites, y como miembro del comité asesor de investigadores jóvenes de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA-2005). El reconocimiento más importante que ha recibido es como Fellow de la Sociedad Geológica de América (desde 2009).

Su labor docente y de divulgación en la UNAM la realiza dentro del Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, como responsable de la sede de posgrado en el Centro de Geociencias. Además de impartir cursos como Geología de México, Tectónica Avanzada, Ambientes y Procesos Sedimentarios y Aplicaciones de Paleomagnetismo, ha organizado dos Diplomados en ciencias de la tierra para maestros, ha participado en los jurados de tesis de doctorado, ha dirigido tesis de doctorado, maestría y de licenciatura; sus últimos días dirigió un grupo de cuatro estudiantes de maestría y uno de licenciatura. Su filosofía como académico de la UNAM se basó en: (1) la docencia y formación de recursos humanos como la principal función de la universidad, (2) en la excelencia en investigación como el camino a la excelencia en docencia y formación de recursos humanos, y (3) en la convivencia académica, el debate y el intercambio abierto de ideas para lograr la excelencia en investigación.

<https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Molina-Garza>

## Guillermo Salas Pizá: 1942-2009

Si se me pidiera definir con una palabra al **Dr. Guillermo Salas Pizá**, no dudaría en pronunciar "generosidad". No tuve la fortuna de tratarlo mucho ni durante mucho tiempo, pero sí el privilegio de que me brindara su amistad, y la verdad, he conocido pocas personas tan generosas como lo fue el Dr. Salas Pizá.

Generoso con su tiempo. Nadie tuvo necesidad jamás de hacer cita previa con él, por más ocupado que estuviera se daba un tiempcito para atender a todo aquel que lo buscaba.

Generoso con sus afectos. Guillermo Salas Pizá fue una persona afectuosa en grado superlativo, con su familia, con su legión de amigos, con colaboradores y superiores jerárquicos, pero sobre todo con sus alumnos, a quienes veía casi como a hijos.

Generoso con sus posesiones. Las anécdotas del desprendimiento personal de bienes y dinero que realizó durante su vida para ayudar a cuanta persona se le acercara, podrían llenar las páginas de un libro. De hecho, el problema que en alguna ocasión llegó a tener con la contraloría del estado, tuvo su origen en un acto de altruismo y generosidad.

Pero sobre todo, generoso con la Universidad de Sonora. Fue el primer director de la Escuela de Minas en 1971, fundador del departamento de Geología en 1974, y catedrático hasta su prematura partida. Por su cátedra se estima que pasaron alrededor de 6,000 alumnos. Fue padrino de diez generaciones de graduantes. Fue un hombre que se preocupó por la formación no nomás profesional, sino también moral y ética de sus alumnos.

Sergio Trelles actual presidente de la Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México



(AIMMGM), me comentó sobre el Dr. Salas lo siguiente: "Desde que lo conocí, no volvimos a alejarnos. Fue mi padre profesional, fue mi socio, fue mi maestro de toda la vida, lo que sé profesionalmente se lo debo a él; pero no nomás yo, sus miles de alumnos lo recuerdan y se encuentran agradecidos con él. Yo estoy en la presidencia por él. Él fue mi promotor principal toda la vida".

Nuestro compañero y amigo, Franco Becerra, en una nota publicada poco tiempo después de la partida del Dr. Salas, escribió: "Hay seres que cruzan por la vida como los grandes buques por la mar, marcando en su trayectoria una estela notable. El Dr. Guillermo Salas Pizá era uno de ellos: hombre noble, brillante geólogo de talla internacional, funcionario honrado a carta cabal, y, sobretodo, un inolvidable educador que hizo de la vida misma una cátedra de tiempo completo. Que su corazón falló, no me sorprende, él ya lo había repartido generosamente entre sus miles de alumnos. Fue un privilegio mayúsculo el conocerlo."

Salas Pizá fue un hombre que vivió la vida muy aprisa. Todos quienes lo conocieron seguramente lo confirmarán. Quizás por ello participó en cualquier cantidad de organizaciones. Publicar su currículum llenaría todo el espacio para esta nota. Reseño por ello sólo sus actividades profesionales:

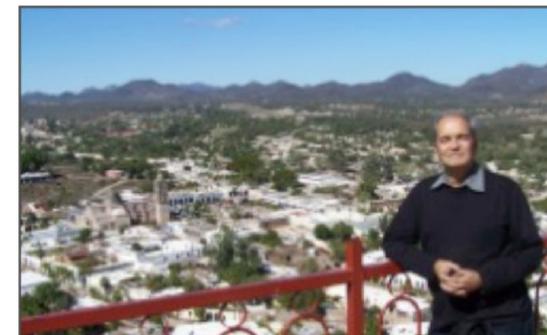
Presidente del Distrito Sonora, 1991-1993, de la AIMMGM, presidente de la Asociación de Mineros de Sonora, A.C., 1993-1997. Asesor de Geología Urbana, dirección general de Atención de Emergencias Urbanas, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1978-1982; miembro de la Comisión Sonora-Arizona, sección minería, de 1993 hasta su fallecimiento, miembro del consejo consultivo del Consejo de Recursos Minerales, 1994-2005. Presidente del consejo directivo nacional AIMMGM, A.C., y al fallecer era el director general de Minería del Gobierno del Estado de Sonora y presidía de la Asociación Nacional de Directores de Minería, A.C.

Sus deudos han recibido multitud de reconocimientos póstumos. Nacionales, regionales e internacionales. Hace unos días, llevó su nombre el noveno Seminario Minero Internacional 2010, el segundo evento más importante en su género en el país. Sin embargo, la entidad a que le hizo los mayores actos de generosidad, la Universidad de

Sonora, y específicamente la Escuela de Geología, no ha tenido para quien fue su motor y alma durante varias décadas, el menor gesto de generosidad. Qué paradoja, quien hizo tanto por tantos, no ha tenido de la institución a la que le entregó literalmente su vida, ni siquiera el intento de hacer perdurar entre sus aulas el nombre de quien fuera un verdadero ícono ¿Ingratitud? ¿Omisión? Quién sabe. Pero muy pocas personas han pasado por nuestra máxima casa de estudios, de la talla de Guillermo Salas Pizá. Muy pocos maestros ha habido que se hayan entregado como él lo hizo. Terminó con una breve anécdota que lo pinta de cuerpo entero:

Al iniciar su sexenio, el gobernador Armando López Nogales nombró como titular de la Secretaría de Desarrollo Económico y Productividad a Don Gustavo Montalvo, quien a su vez invitó al Dr. Salas a ocupar la Dirección de Minería, quien cuando se entrevistaron y aceptó el cargo le puso una condición a su nuevo jefe: continuaría con su cátedra, "y cuando estoy en el aula apago el celular", le informó.

<https://fjespriella.wordpress.com/2010/11/05/dr-guillermo-salas-piza-un-sonorense-adoptivo-fuera-de-serie/>



Mi nombre es **Feliciano J. Espriella Salido**. Trabajé cerca de 20 años en el sector financiero, y lo dejé o me dejó, para el caso es lo mismo, en 1992, como consecuencia de la reprivatización bancaria. Desde el fatídico 1995 me he dedicado al periodismo, especializándome en temas financieros y empresariales. Desde enero de 2002 colaboro con el semanario Primera Plana de Hermosillo, Sonora, México: medio de comunicación en el que publico una columna titulada: "Olor a Dinero" Correo: [f\\_espriella@prodigy.net.mx](mailto:f_espriella@prodigy.net.mx) Twitter: @fjespriella Facebook: <https://www.facebook.com/fjespriella>

# PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

## Richard T. Buffler

One of the last frontier exploration areas in the United States is the deep and ultradeep waters of the northern Gulf of Mexico Basin. Hundreds of millions of dollars are now spent yearly in the acquisition, processing, and interpretation of seismic reflection data, as well as in lease acquisition, and in the drilling of wells. Twenty-five years ago, precious little was known about the geology of the deep-water Gulf of Mexico. At that time, an important relationship began at the University of Texas Marine Geophysics Lab in Galveston, Texas that led to extensive scientific investigations of the deep Gulf of Mexico Basin. One of the main architects of the collection and interpretation of the geologic and geophysical data collected was Richard T. Buffler. It is altogether fitting as our industry expends major effort and money in the deciphering the deep Gulf of Mexico, that the GCSSEPM recognizes one of the original workers for his important contributions to our understanding of the Gulf of Mexico Basin.

Richard T. Buffler was born on November 4, 1937 in Troy, New York. His family moved to Austin, Texas when he was young. He attended UT-Austin and majored in geology, and graduated Phi Beta Kappa in May 1959. After graduation, Dick spent two years on the Active duty with the US Navy as a communications officer.

During this period he met his life's partner, Patricia, and they married in 1962. So began a rather extraordinary two career family from which many different scientific disciplines have benefited. They have two grown children, and two grand-children. After his discharge from the Navy, Dick attended the University of California at Berkeley and received his Ph. D. in 1967. His Ph. D. dissertation research was on the Miocene Browns Park Formation in northwestern Colorado. From 1967–1971, Dick worked with Shell Oil Company in a variety of roles; first in Los Angeles, and later as a research scientist at the Bellaire E and P Research Center in Houston. Rufus LeBlanc recalls the stories of Dick doing field work in the nude in Utah, although Dick claims it is a typical Rufus embellishment, that he merely sunbathed during lunch hours.



Seeking newer horizons, Dick, Pat and family left for Alaska in 1971, where he worked part-time for the University of Alaska at Anchorage, part time for Arctic Environmental Information center doing resource analyses, and part-time for the Fairbanks geology department teaching graduate courses in Anchorage.

In 1975, Pat took a job at The University of Texas Medical Branch in Galveston. Upon the return from her interview, she informed Dick that there was a new marine geosciences institute associated with the Medical Branch in Galveston founded by "Doc" Ewing. They needed staff to help with upcoming multichannel seismic cruises, and thus, began Dick's long affiliation with the Gulf Basin geology. He insisted on taking the second AAPG Seismic Stratigraphy School that was taught in Houston, TX, where he became a convert to seismic/sequence stratigraphy.

Since that time, Dick has been involved with 18 different cruises, twelve of them in the Gulf of Mexico (1976–1984), and was the chief scientist on five of them. The seismic and geologic data collected from these cruises is what formed the initial basis for defining the deep Gulf of Mexico structure and stratigraphy. Dick was the co-chief scientist (with Wolfgang Schlager) of the DSDP Leg 77 in

1980–1981, an especially important leg in the southeastern Gulf of Mexico. The sites were especially important for establishing the age of the mid-Cretaceous Sequence Boundary (MCSB), and for better defining the Late Jurassic and Early Cretaceous history of the Gulf Mexico, including the documentation of deepwater Cretaceous source rocks.

Dick has collaborated with many people in these cruises, building lasting relationships with many people. His work has resulted in many important papers the deep Gulf geology, including important DNAG volume contributions. Dick has been a prolific researcher, publishing 80 papers on various aspects of the Gulf Basin geology. His approach has been one of complete integration of disciplines, including papers on the stratigraphy, structure, and geophysics, which has led to a robust, integrated understanding of the basin. He served as an AAPG Distinguished Lecturer in 1979–1980, and has received several awards for his research including the AAPG 1990 Wallace E. Pratt Memorial Award for the best paper in the Bulletin in 1988, "Paleogeographic Evolution of Early Deepwater Gulf of Mexico and Its Margins: Jurassic-Middle Cretaceous," co-authored with Charles Winker. Most recently Dick is working with William Galloway on a major synthesis of the Cenozoic history of the entire basin, and he also is co-editing a major new AAPG volume on the geology of the western Gulf of Mexico basin and adjacent Mexico.

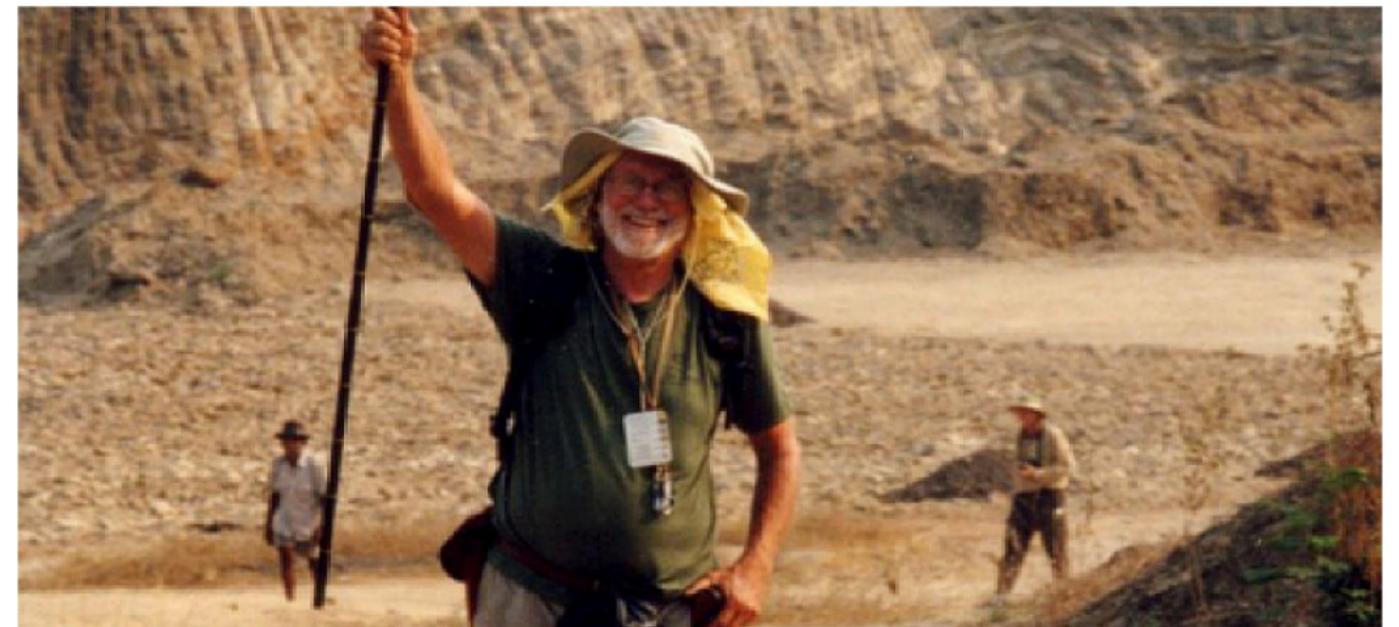
In 1983, the Institute for Geophysics was moved from Galveston to Austin, and Dick became a faculty member

with the UT-Austin Department of Geological Sciences. Dick was instrumental in this move, which was essential to continue to keep The University of Texas as one of the leading earth science schools in the world. Dick has been a superlative mentor and advisor for many students. He has supervised 34 students during the past 20 years, 16 of which worked in the Gulf Basin, and he has served on countless more graduate committees. Dick also has been associated extensively with the Ocean Drilling Project, working from 1985–1987 as the Associate Program Director for Science for The ODP (Ocean Drilling Program.) at NSF in Washington, D. C., and also participating on Leg 123 off northwest Australia.

Like all geologists, Dick has desired to work in other areas, and recently he has been involved in a major field project to study the rift history of the northern Danakil-southern Red Sea region of Eritrea, Africa. His investigations have made important contributions to the evolution and migration of early man. He also has several students working in Mexico, New Mexico, and Arizona on a variety of stratigraphic problems. At a time where record water depths for exploration drilling are being broken almost yearly, and several wells have now been drilled in the abyssal plain, the GCSSEPM bestows honorary membership on one the pioneers, Richard T. Buffler, for his important contributions to our understanding the deep Gulf geology.

Paul Weimer  
GCSSEPM

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Richard-T-Buffler-71923829>



# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Moraima Fernández Rodríguez**

**Gestión para la reducción de los riesgos hídricos en el Municipio de Moa, Cuba: Caso de estudio: Río Cabaña (Cuba)**

Tesis presentada en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas

Facultad de Geología Minería Departamento de Geología, MOA, 2021

Tutores: PROF. TIT., ING. **Rafael Guardado Lacaba**, DR.C  
PROF. TIT., ING. **Constantino de Miguel Fernández**, DR C(+)

### SÍNTESIS

La composición físico-química y bacteriológica de las aguas dependen de varios factores, en las aguas superficiales tienen influencia considerable la naturaleza de las fuentes de alimentación y su recorrido hasta el cuerpo de agua, las aguas superficiales se ven afectadas por la contaminación industrial y minera, principalmente en los ríos ubicados cercanos a las áreas de minería. El río Cabaña objeto de la presente investigación tiene una longitud de 17.3 km se ubica en una de las principales cuencas hidrográficas del territorio y su cauce fluvial no escapa de la acelerada acción antrópica que ha modificado su composición, función y estructura como consecuencia al desarrollo poblacional y socioeconómico, lo que representan un peligro real para la calidad de las aguas y el medio ambiente. Se realiza un estudio de la calidad de las aguas superficiales mediante el uso combinado de índices de calidad de agua (ICAsup) e índices de contaminación (ICO), y la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para evaluar el peligro, vulnerabilidad y los riesgos por contaminación de las aguas del río Cabaña. Los resultados mostraron las zonas del río con mayor riesgo asociados a una baja calidad del agua, mayores índices de contaminación por pH, temperatura y sólidos suspendidos, lo que permitió conocer la alta peligrosidad y alta vulnerabilidad en la zona baja del río, y un riesgo alto asociado a una mayor contaminación por aguas residuales industriales y urbanas para las dos épocas evaluadas. Se propone un plan para la reducción de los riesgos con el propósito de disminuir el proceso de deterioro de la calidad del agua del río Cabaña y los riesgos sobre la comunidad y el medio natural.

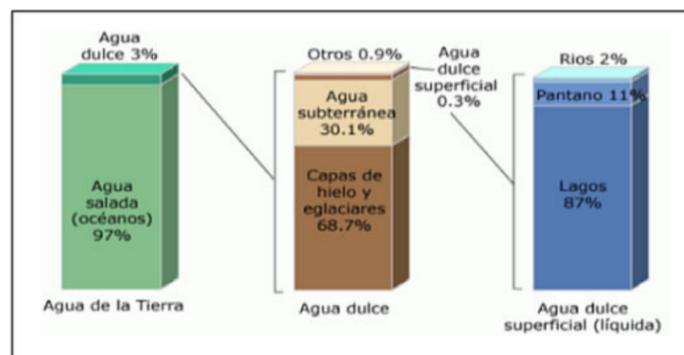


Figura 1. Distribución del agua en la Tierra (USGS, 2015)



Figura 2.1 Imagen satelital del área de estudio.

## Geología, petrología y estructura de la migmatita Magdalena, Complejo Ayú, sur de México

Tesis para obtener el título de: Licenciada en Ciencias de la Tierra  
Universidad Nacional Autónoma de México, Octubre 2020

Sustentante: **Mariana Yolotzin Alcántara Torres**

Director de tesis: *Dr. Fernando Ortega Gutiérrez*

### Resumen.

El complejo Ayú se compone del Litodema Chazumba descrito como una secuencia de esquistos pelíticos intercalados con cuarcitas, la Migmatita Magdalena son rocas heterogéneas producto de un evento de fusión parcial de la corteza inferior, y los intrusivos San Miguel formados por granitos tipo S. La historia de este complejo es relevante para entender la actividad tectonotérmica del sur de México durante el rompimiento de Pangea en el Jurásico. Particularmente la Migmatita Magdalena es clave ya que su presencia implica que se alcanzaron condiciones térmicas altas para producir fusión parcial en la región. A pesar de su relevancia geológica, los estudios de la migmatita son escasos y carecen de análisis petrográficos, geoquímicos, de química mineral, fechamientos y estructurales detallados. Sin embargo, en este trabajo se presentan datos que contribuyen al estudio y entendimiento de la fusión parcial en el área. El origen de la migmatita continúa siendo tema de debate, actualmente existen 2 propuestas, una se refiere a la presencia de una pluma del manto la cual tuvo una actividad muy débil durante su paso por esa región y como evidencia generó un domo en la superficie (Ortega-Gutiérrez, 1975; Keppie et al., 2004). La otra propuesta es que la migmatita se formó en una cuenca de trasarco (Helbig et al., 2012). Con el análisis de las relaciones en campo entre las distintas litologías que componen a la migmatita, su estructura, la caracterización petrográfica y la química mineral se sustenta la presencia de un domo migmatítico en la región resultado del paso de una pluma mantélica de edad Jurásica. Se localizó el foco de migmatización y se identificaron los posibles protolitos de la migmatita, así como las asociaciones minerales presentes en las diferentes litologías.

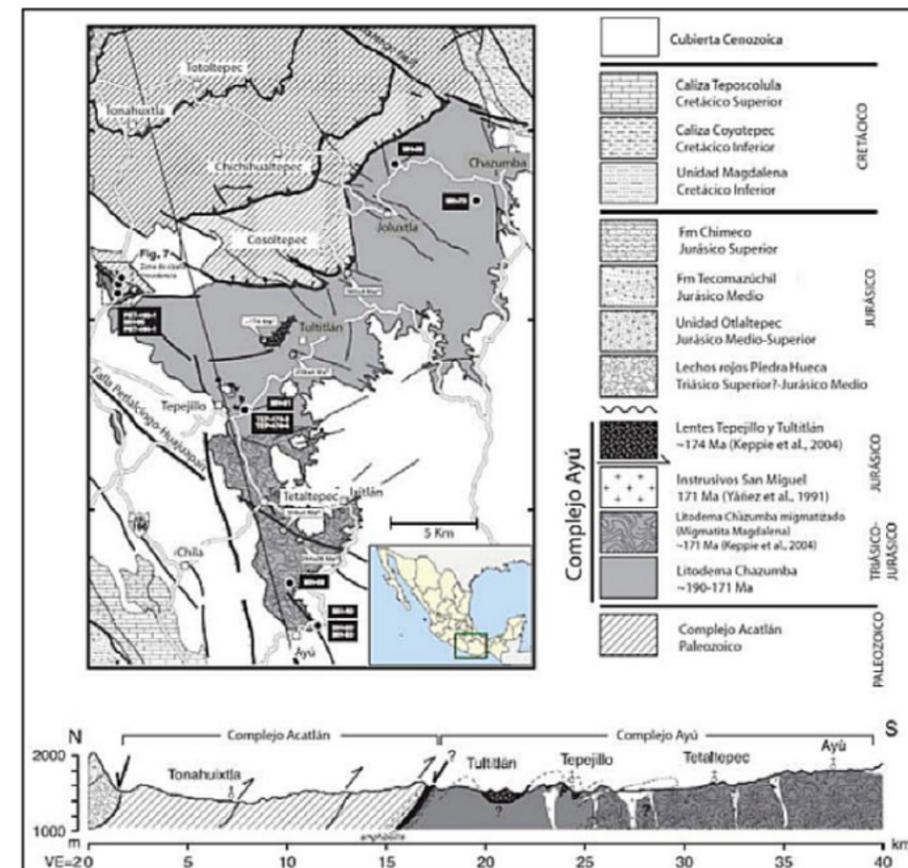


Figura 1.1. Mapa geológico y de localización del complejo Ayú (Helbig et al., 2012)

## Geología, mineralización y estimación de recursos de las vetas en explotación de Mina San Cristóbal (Perú)

Universidad Nacional De San Agustín Arequipa

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo, 2021

Sustentante: **José Vicente Acevedo Obando**

Asesor: MSC. *Madeleine Natalhy Guillen Gómez.*

### Resumen

El presente estudio se ubica en la Mina San Cristóbal, distrito de Yauli, departamento de Junín, en las vetas 658, SP 658 y 722, en el cual se describen las principales unidades geológicas, comportamientos estructurales y la mineralización presente en las vetas 658, SP 658 y 722, con la finalidad de comprender el comportamiento geológico que presenta este yacimiento.

Las unidades geológicas presentes en el área son de diversas edades iniciando con el grupo Excelsior, filitas paleozoicas donde se desarrolla más del 70% de la mineralización, el grupo Mitu rocas volcánicas del paleozoico tardío, seguida de una secuencia sedimentaria no clástica correspondiente a las calizas de grupo Pucará, y una secuencia clástica del grupo Gollarisquisga, estas son intruidas por intrusivos como el intrusivo San Cristóbal de una edad 10 a 12 millones de años, y los volcánicos Chumpe de una edad de 3 a 6 millones de años los que contribuyen con la mineralización de las vetas en explotación.

Estas unidades litológicas son plegadas y deformadas por varios procesos tectónicos de deformación que forman las estructuras y vetas que son materia de estudio, estas inician con un anticlinal de dirección NW-SE; con posteriores eventos tectonismo compresivo los que forma las diferentes vetas como veta 658, S658 y 722, de dirección SW-NE; y que sufren reactivaciones asociadas a estadios de mineralización.

La mineralización presente en las vetas de estudio es esencialmente de Zn, Ag, Pb y Cu, siguiendo zoniamiento, tanto en las vetas individualmente como en el distrito mineralógico de San Cristóbal, en el presente trabajo se da énfasis al Zn por ser el mineral predominante en estas vetas.

Los resultados de la estimación de los recursos ayudaran a tener una mejor cubicación y una mayor certeza de las leyes presentes en el yacimiento para así mejorar con los planes de minado a largo, mediano y corto plazo, y esto permitirá llegar a lograr una reconciliación que mejore los procesos operativos.



Figura 1.1. Ubicación mina San Cristóbal, Perú (Fuente Volcan Cía. Minera SAA).

## Estudio Termotectónico de la unidad Granitoides Esperanza mediante U-Pb y trazas de fisión en apatitos, Sierra Madre del Sur, México

Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, UNAM

Tesis para optar por el grado de Maestra en Ciencias de la Tierra, Agosto de 2021

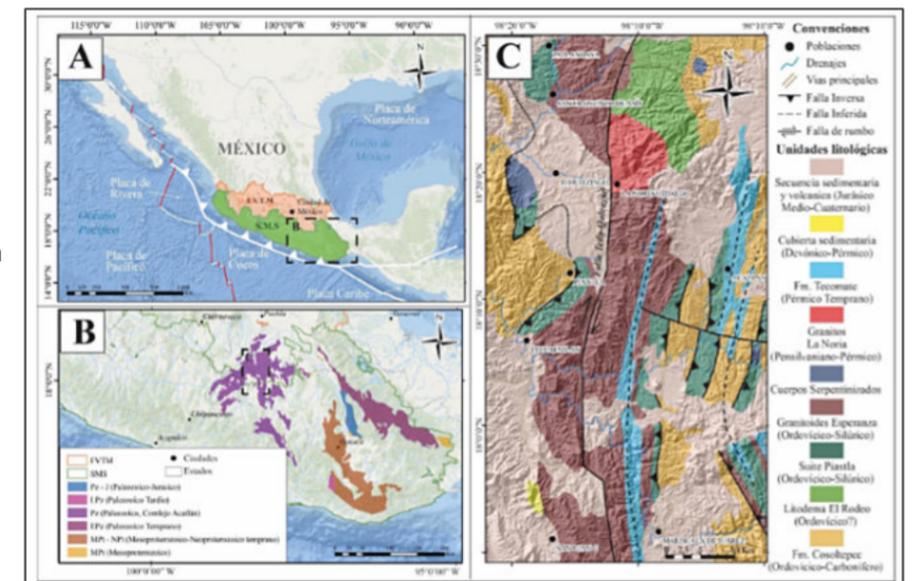
Sustentante: **Sandra Lorena Florez Amaya**

Asesor: Dr. *Fanis Abdullin, CONACyT,*

### Resumen

La unidad Granitoides Esperanza (GE) hace parte del conjunto de rocas que conforman la suite de alta presión del Complejo Acatlán. Esta unidad se caracteriza por la presencia de augengneises en facies de anfibolita, milonitizadas con megacristales de feldespato potásico. Para dicha unidad se ha definido una edad de cristalización ordovícica temprana, mientras que para su metamorfismo se infiere que tuvo lugar entre el Silúrico tardío y Devónico Temprano. Por último, se han determinado algunas edades de enfriamiento entre el Devónico Tardío y Misisípico, las cuales son determinadas y atribuidas a procesos de exhumación. Para entender mejor los eventos tectonotermales que ha sufrido la unidad GE, se recolectaron diez muestras entre las localidades de Patlanoaya, Acatlán, Tecamatlán y Mariscala de Juárez; cuyas características litológicas varían de augengneises protomiloníticos a ultramiloníticos y pegmatitas altamente foliadas. Para establecer la historia tectono-térmica, se implementaron las técnicas de trazas de fisión en apatitos y U-Pb en zircón en apatito. Los augengneises en la zona de estudio se describen como rocas que evidencian facies de eclogita como su pico de metamorfismo, con dos estados de retrogresión: uno en facies anfibolita y el segundo de baja temperatura. Los estudios geocronológicos de U-Pb en zircón realizados arrojan edades entre  $464.7 \pm 3.3$  y  $469 \pm 3.5$  Ma para el subgrupo litológico de los augengneises, y de  $461.6 \pm 3.3$  Ma para las rocas pegmatíticas; éstas son definidas como edades de cristalización que tuvieron lugar en el Ordovícico Medio para ambas litologías. Mediante los fechamientos por U-Pb en apatito ( $T_c = 450-550$  °C), se encontraron edades entre  $333 \pm 9$  y  $366 \pm 19$  Ma en los augengneises (en un único ajuste en la línea de discordia); lo que permite constreñir el primer evento metamórfico de retrogresión en facies anfibolita-epidota ( $450-550$  °C), con apatitos que presentan características químicas de metamorfismo de grado medio y alto. Por último, las edades encontradas mediante el método de trazas de fisión varían de  $53.4 \pm 3.5$  a  $71.8 \pm 2.9$  Ma; lo que indica edades de enfriamiento correspondientes a eventos de exhumación y acortamiento de los GE, durante la Orogenia Mexicana en la Sierra Madre del Sur. Esta orogenia ha sido interpretada en este rango de tiempo como una fase de régimen transpresivo, ideal para el levantamiento de las rocas que conforman el basamento polimetamórfico del Complejo Acatlán.

Figura 1.1. a) Provincias fisiográficas relacionadas con el Complejo Acatlán. S.M.S= Sierra Madre del Sur; F.V.T.M= Faja Volcánica Trans-Mexicana, b) Basamento



## Utilización del georadar GEPARD (OKM) para la determinación de restos arqueológicos en los sitios Nuevo Corinto y El Cardal, Costa Rica

Universidad de Costa Rica

Práctica dirigida para optar por el grado de: Licenciatura en Geología: 2017

Sustentante: **Javier Oviedo González**

Director de Tesis: *Dr. Osear Lücke Castro*

### Resumen

A finales del año 2016 aún no se tenía registro del uso del georadar o GPR por sus siglas en inglés (Ground Penetrating Radar) en la arqueología costarricense y, solamente se había utilizado una vez este método geofísico con el fin de comprobar la estratigrafía más superficial de los volcanes Irazú y Poás. Ante tal situación, en el año 2015 se incluyó dentro del proyecto “El sitio Nuevo Corinto (L-72-NC): una aldea cacical”, una fase de prospección arqueogeofísica en este sitio con el georadar recién adquirido en ese momento por el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG). También se propuso prospectar el sitio Alto del Cardal, el cual presenta condiciones ambientales distintas al sitio Nuevo Corinto.

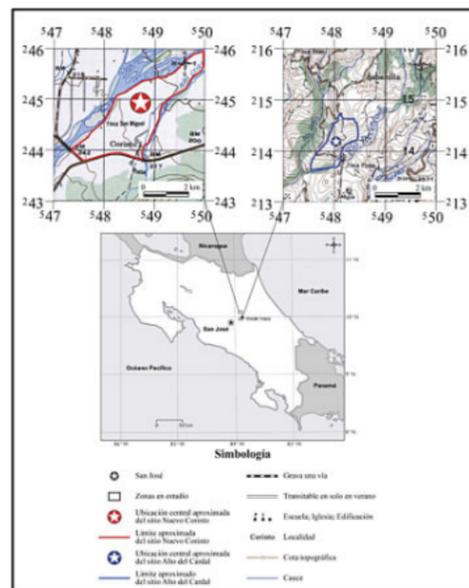
Durante los años 2015 y 2016 se prospectó los montículos 1, 6 y 7 en el sitio Nuevo Corinto y aproximadamente 1,5 Ha del sitio Alto del Cardal, con el fin de delimitar zonas con potencial arqueológico, así como determinar el desempeño y aplicabilidad del georadar Gepard de la empresa OKM (Alemania) en suelo costarricense.

El diseño de la prospección consistió en un arreglo radial para los montículos y 16 grillas en un arreglo ortogonal en el sitio Alto del Cardal, en donde se probaron distintas configuraciones del equipo, variando el time window, tipo de suelo y frecuencia y modelo de las antenas. Tanto en la recolección de los datos como en la interpretación de estos, se utilizaron los dos programas (aplicaciones) que venían con el georadar con el propósito de evaluar su eficacia. En cuanto a los resultados metodológicos, el Gepard (OKM) no mostró una adecuada adaptabilidad a las condiciones de ninguno de los dos sitios, debido a que su diseño lo hace vulnerable a la afectación de elementos externos, tanto a nivel de resultados como de la integridad del equipo.

Sin embargo, a pesar de las dificultades encontradas durante la prospección y posterior interpretación, se obtuvieron algunos resultados positivos. En Nuevo Corinto se logró comprobar parte de la estratigrafía, así como algunos elementos arquitectónicos que se conocían previamente (muros, basamentos, etc.). Además, se detectaron algunas anomalías en los montículos 1 y 7 que podrían ser de interés arqueológico. El sitio Alto del Cardal presentó 9 áreas con anomalías interpretadas como rasgos arqueológicos o elementos geomorfológicos/geológicos. Entre los rasgos arqueológicos se identificaron: tumbas, pisos de arcilla y un empedrado; también se interpretó algunos elementos de la paleotopografía.

Esta investigación pone en evidencia la necesidad de continuar con estos estudios, para refinar más la metodología y utilización de este equipo en particular y, para establecer una línea de investigación arqueogeofísica en el país, la cual es prácticamente inexistente hasta el momento.

Figura 1.1. Mapa de ubicación de los sitios Nuevo Corinto y Alto del Cardal, proyección Lambert Norte, modificado de las hojas topográficas Guápiles e Istarú, IGN, 1991.



## Caracterización ambiental del manantial "Ojo de Agua", Moctezuma, S.L.P. y acciones para su conservación y uso (San Luis Potosí, México)

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales: 21 de Noviembre de 2019

Sustentante: **Alejandra Gardea López**

Director de tesis: *Dr. Antonio Cardona Benavides*

### Resumen

Con el fin de comprender el funcionamiento del manantial “Ojo de Agua” del municipio de Moctezuma, SLP, México, se realizó un estudio multidisciplinario el cual contempló los diversos elementos ambientales que interactúan con el agua subterránea, basado en la Teoría de los Sistemas de Flujo de Agua Subterránea (TSF) propuesta por Tóth (1963); dentro de los elementos ambientales que se estudiaron se incluyen el suelo y la vegetación asociada al área de recarga, la geología y sus estructuras que determinan la dirección, movimiento y química del agua y la sociedad que influye o se ve afectada en/ con la problemática ambiental del manantial. El trabajo consistió de cuatro etapas; la primera fue la etapa de gestión, en donde se establecieron fechas, solicitaron permisos y se hizo la vinculación con la población en conjunto con los funcionarios del Ayuntamiento de Moctezuma; también se hizo el diseño de formatos necesarios para la recolección de la información de campo, se definió el área de estudio y se recopiló la información necesaria de la misma.

La segunda etapa fue la de campo, que consistió de varias fases: a) la toma de muestras de agua y parámetros hidrogeoquímicos in situ de los aprovechamientos censados, la cual se realizó en tres campañas de muestreo (septiembre 2018, noviembre 2018 y febrero- marzo 2019), b) el muestreo de cobertura vegetal en el área de recarga potencial del manantial por medio del método de step-point (Raymond and Merton, 1957) de febrero a abril de 2019 y c) la aplicación de entrevistas semi-estructuradas a la población y personajes clave en la cabecera municipal de Moctezuma, por medio de un muestreo por conveniencia, de febrero a marzo de 2019. La tercera etapa fue la etapa de laboratorio en donde se llevaron a cabo los análisis químicos y fisicoquímicos de las muestras de agua superficial y subterránea por medio del espectrómetro de emisión óptica ICP-OES y del espectrómetro de masas ICP-MS.

Y finalmente la etapa de procesamiento de datos en donde se realizó el análisis de la información recolectada en campo y laboratorio con ayuda de distintos programas de cómputo especializados. Se obtuvo un total de 39 muestras en 25 aprovechamientos que incluyen bordos, manantiales, norias y pozos, con las cuales se identificó la dirección de flujo del agua subterránea de poniente a oriente, la calidad del manantial con base en la NOM-127- SSA1-1994, que resultó de buena calidad para el manantial, el área de recarga potencial del manantial ubicada en la parte poniente del manantial en el anticlinorio Santa Catarina y ocho familias de agua que fueron bicarbonatada-mixta ( $\text{HCO}_3\text{-MIX}$ ), bicarbonatada- cálcica ( $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ), bicarbonatada sódica ( $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ), mixta mixta ( $\text{MIX-MIX}$ ), mixta cálcica ( $\text{MIX-Ca}$ ), mixta sódica ( $\text{MIX-Na}$ ), sulfatada mixta ( $\text{SO}_4\text{-MIX}$ ) y clorurada cálcica ( $\text{Cl-Ca}$ ). Se realizaron 150 parcelas de cobertura vegetal en el área de recarga potencial con las que obtuvo el porcentaje que va de 47.2 a 52.8 %, con el cual se definió que el ecosistema no es considerado como “saludable”. Las entrevistas realizadas tanto a pobladores de la cabecera de Moctezuma como de las autoridades municipales fueron una herramienta muy útil para identificar posibles factores que pudieron haber provocado la disminución del manantial y para conocer el nivel de interés de la gente con respecto a la problemática ambiental. También ayudaron a identificar que la percepción de la gente con respecto a que la disminución de la lluvia era uno de los factores que había causado la problemática del manantial, no era correcta ya que con análisis de series de tiempo de precipitación y temperatura del área de Moctezuma se demostró que no había tendencia en un periodo de 1970 a 2016.

Finalmente, se pudo observar que uno de los pozos (El Picacho) que se utiliza para el abastecimiento de agua de Moctezuma, presenta una composición química similar a la del manantial, lo que sugiere que ambos pueden tener conexión en el sistema de flujo subterráneo y la extracción del pozo puede tener influencia sobre el manantial.

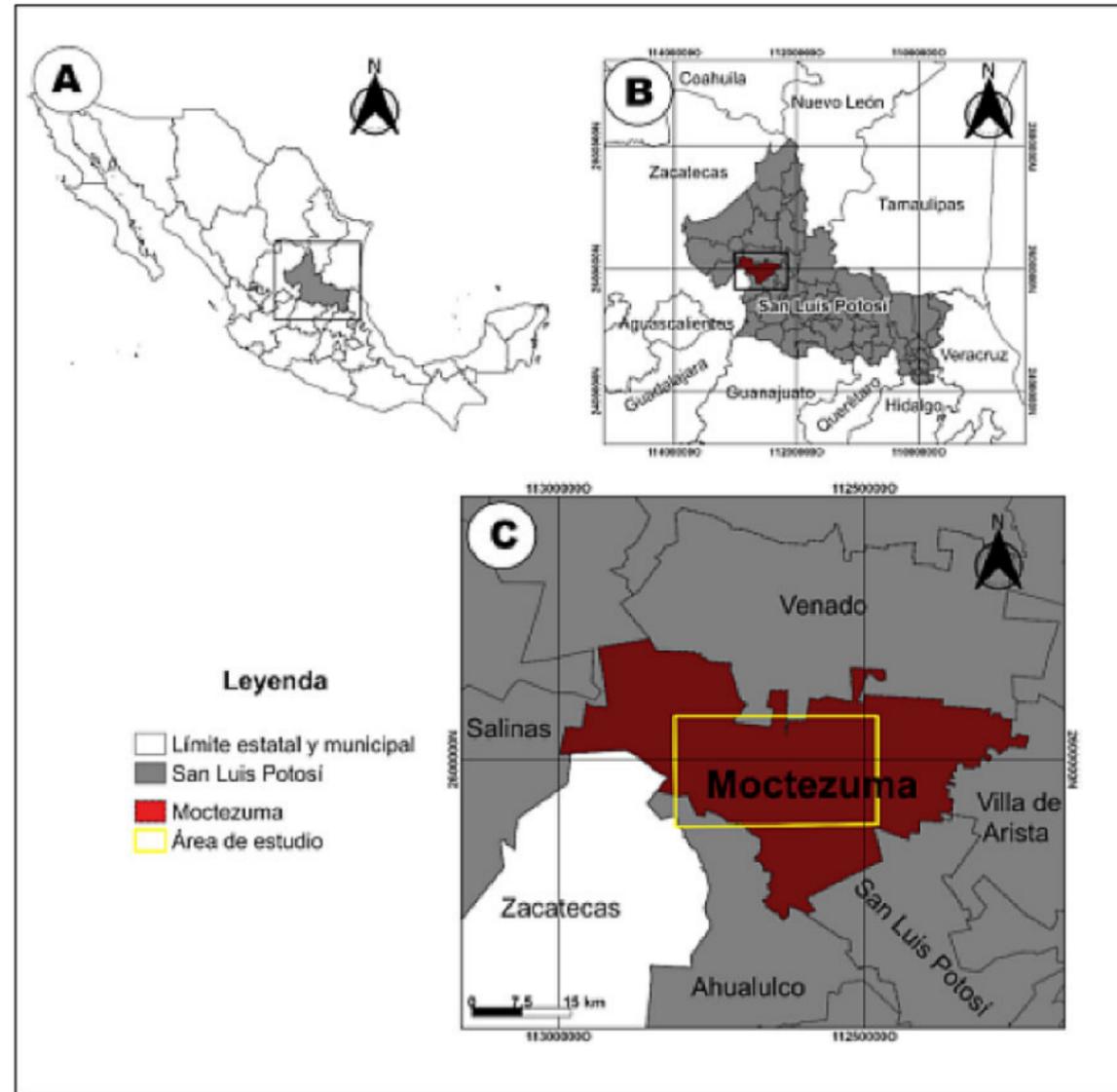


Figura 1.1. A) Estados Unidos Mexicanos, B) estado de San Luis Potosí y C) municipio de Moctezuma. El recuadro amarillo representa el área de estudio. Elaboración propia.

## El libro recomendado

**AAPG BOOKSTORE**

### South America–Caribbean–Central Atlantic Plate Boundary: Tectonic Evolution, Basin Architecture, and Petroleum Systems

*Edited by Claudio Bartolini*

NEW RELEASE!

The discovery of billions of barrels of oil offshore Guyana by ExxonMobil since 2015 has focused the attention of the geological community on the eastern boundary of the Caribbean and South American tectonic plates. For the first time in history, commercial oil accumulations have opened a new petroleum province in Upper Cretaceous sandstone turbidites of the Guyana Basin offshore Guyana, Suriname, and French Guyana, along the northeastern corner of South America. Added to the well-known petroleum potential of Venezuela, Trinidad, and Barbados, these recent oil discoveries have triggered an explosion of exploratory activities by international oil companies across the eastern Caribbean region, including the acquisition of giant 3-D seismic surveys offshore, multiple wildcat wells, and the award of numerous blocks in recent petroleum bid rounds. Undoubtedly, this region has arrived as a key area for future oil and gas exploration.

AAPG Memoir 123 consists of 24 chapters representing the most recent and innovative geological and geophysical studies conducted around the southeastern Caribbean by many international geoscientists. The book is multidisciplinary in scope and includes an extensive variety of topics, including petroleum systems, source rock geochemistry, plate tectonics, exploration results, and hydrocarbon discoveries, play fairways, basin studies, sequence stratigraphy, geological modeling, diagenesis, structural geology, shale tectonics, physical stratigraphy, sedimentology, geophysical potential fields (gravity and magnetics), regional geology, paleostress, and large-scale tectonic reconstructions.

This book is a required text for professionals in the petroleum industry, research, academia, and petroleum consulting and service companies.

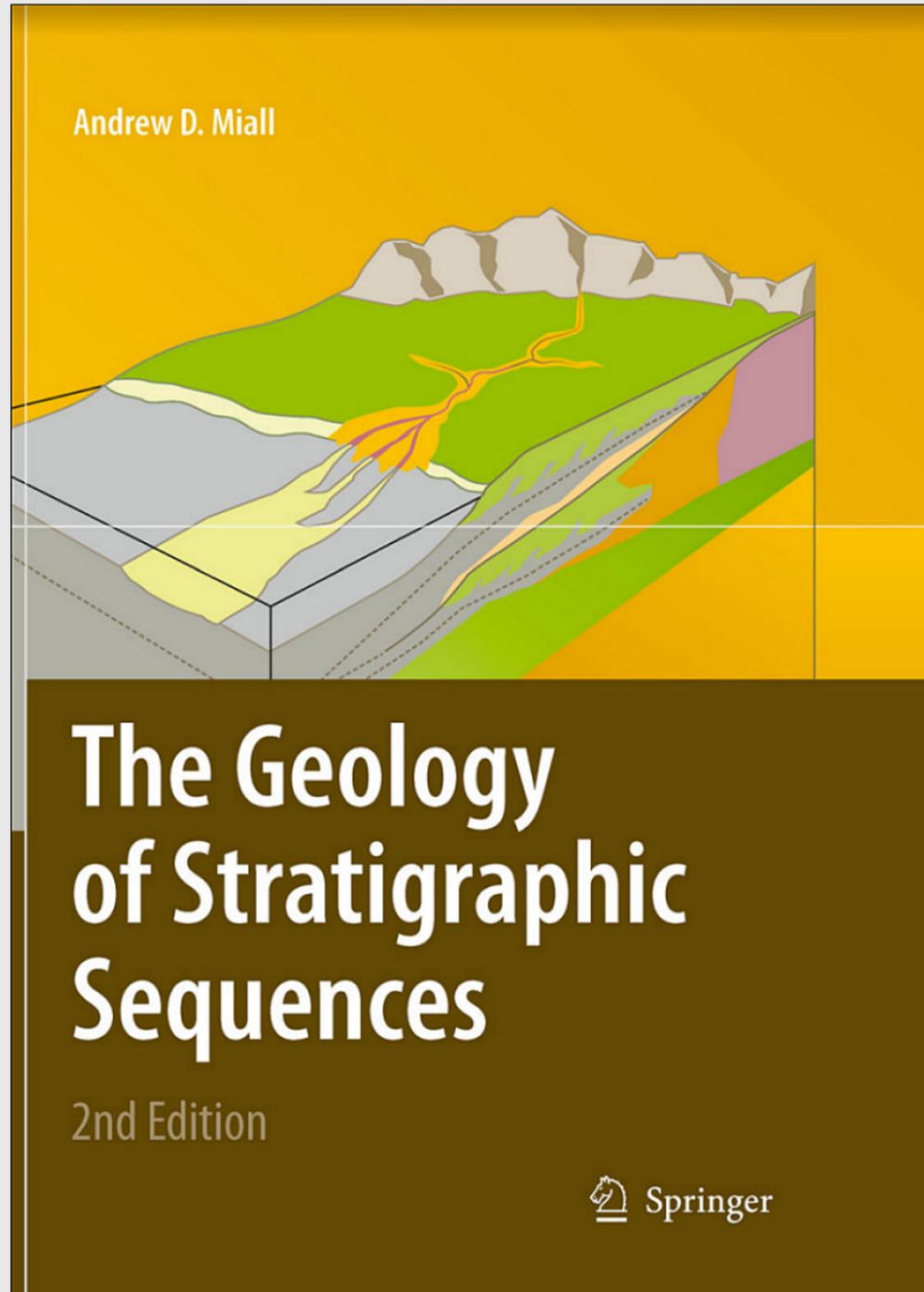
**Product #1317**  
Price: \$179 AAPG Members / \$358 Non-Members

CONTACT: [CECInbox@aapg.org](mailto:CECInbox@aapg.org)

Buy. Register. Download.  
**store.aapg.org**

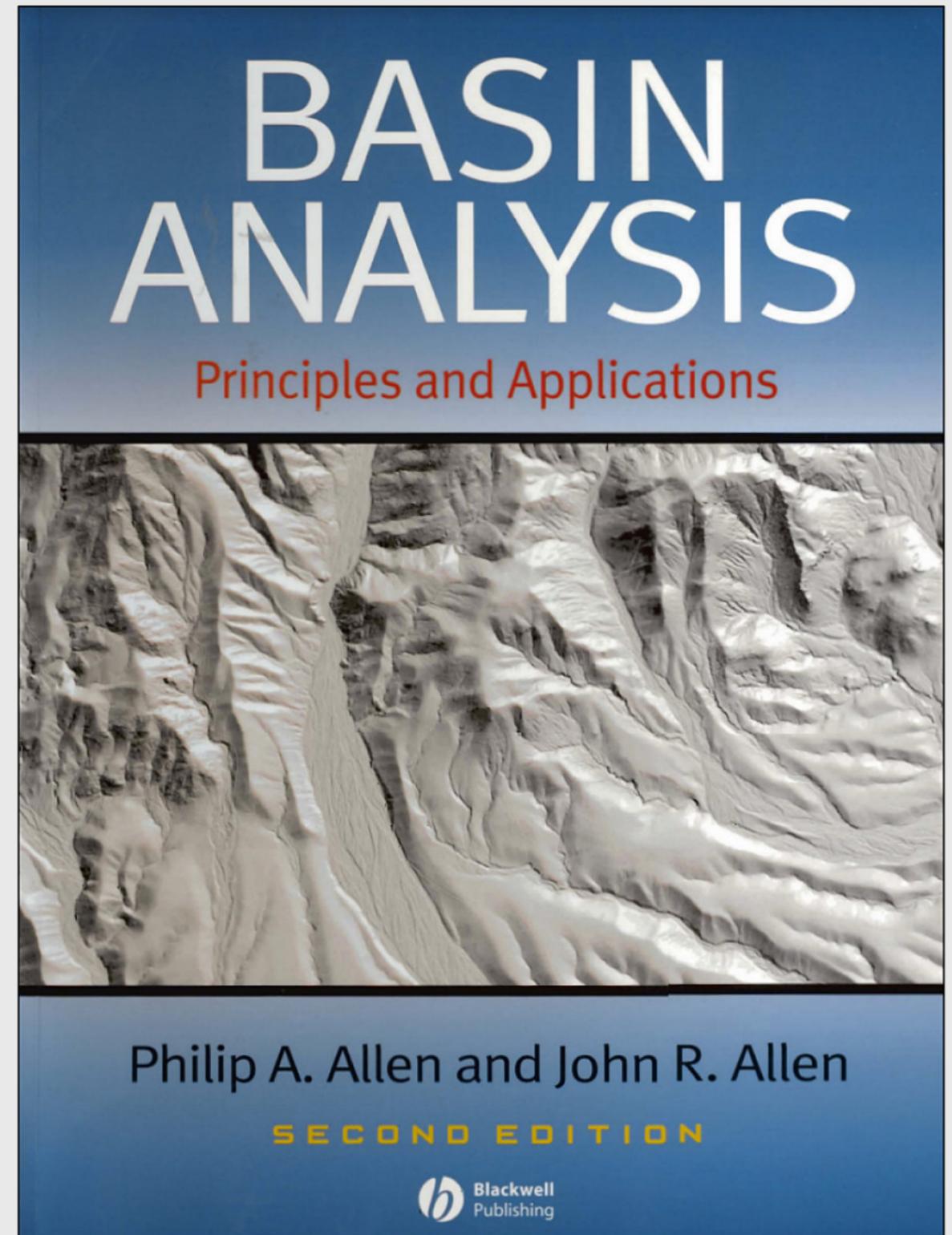
## El libro recomendado

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-05027-5>



## El libro recomendado

<https://www.wiley.com/en-us/Basin+Analysis%3A+Principles+and+Application+to+Petroleum+Play+Assessment%2C+3rd+Edition-p-9780470673775>



# TEMAS DE INTERÉS

## Hablemos sobre litio: Parte II

Compilado por

**Saúl Humberto Ricardez Medina**

### Métodos de extracción

Anteriormente hablamos sobre las dos fuentes principales de litio; roca dura (pegmatitas graníticas y/o arcillas) y las salmueras (playas).

Los métodos de extracción de litio varían de acuerdo al tipo de yacimiento y estos a su vez varían en su concentración de litio (Tabla 1). Los yacimientos de roca dura son minados usando métodos superficiales (tajo a cielo abierto) y/o subsuperficiales (subterráneos) similares a las técnicas convencionales para la extracción de otros metales. En el caso de las salmueras al ser líquidas son extraídas por bombeo desde pozos.

### Yacimientos de roca dura

#### Minado superficial

El minado en tajos a cielo abierto es el método utilizado para yacimientos que están cerca de la superficie (usualmente menos de 100 metros). Esto conlleva a remover el suelo, cavar la mena o realizar voladuras con explosivos y posteriormente transportar el mineral por camión o cinta transportadora para su almacenamiento antes de continuar con su procesamiento. El material es removido en una serie de capas, dejando bancos horizontales a los lados de la mina a cielo abierto para permitir trabajar las “caras” verticales a una altura segura, la altura que pueden llegar a tener estas caras esta condicionada a la estabilidad de la roca que está siendo trabajada.

El minado en tajo a cielo abierto y subterráneo en ocasiones se puede combinar como un solo tipo de minado y esto puede tomar lugar simultáneamente en orden de obtener el acceso a las partes más superficiales y profundas del cuerpo principal de la mena. Como ejemplo de esto tenemos el caso de la mina Greenbushes la cual fue desarrollada para la extracción de litio en 1983 y es el productor líder en el mundo de litio en yacimientos de roca dura. Cuando comenzó la producción, el depósito estaba cubierto por un promedio de 20 metros de material que contenía arcilla erosionada que se extraía inicialmente con cargadores frontales y excavadoras. El mineral de espodumena se extrae de las zonas no meteorizadas de las pegmatitas que están expuestas en los tajos a cielo abierto. La roca se perfora y luego se dinamita en bancos de cinco o diez metros utilizando explosivos. El material roto se retira utilizando una excavadora hidráulica y camiones volquete y el mineral se lleva a dos plantas de procesamiento cercanas; uno produce concentrados de litio bajos en hierro para las industrias de la cerámica y el vidrio y el otro produce concentrados de litio adecuados para productos químicos. El material de desecho se utiliza dentro del sitio como parte del plan de rehabilitación de la empresa

#### Minado subterráneo

El método de minado subterráneo se utiliza cuando el minado de tajo a cielo abierto es o se convierte en un método sumamente costoso. En casos como: si el depósito es demasiado profundo o si su forma es tal que la minería subterránea es más eficiente. Acceder a la mina de subterránea es más eficiente a través de un pasadizo (horizontal), un pozo (vertical) o un declive (en ángulo). El mineral se extrae en rebajes en varios niveles aproximadamente horizontales a varias profundidades debajo de la superficie.

Las primeras operaciones en la mina Bikita utilizaron métodos subterráneos donde se utilizó un túnel de acceso de 610 metros para acceder a las obras. Los vagones se cargaban a través de conductos aéreos y se llevaban a la planta de procesamiento en locomotoras diesel.

Se accede al cuerpo principal de la mena en la mina Tanco de Cabot Corporation en Manitoba, Canadá, tanto por un eje como por un declive de 20° desde la superficie y se extrae mediante el **método de minería subterránea de pilares y salas**<sup>1</sup>. Aquí es donde la minería progresa en direcciones casi horizontales al abrir múltiples rebajes o habitaciones dejando pilares de material sólido para el soporte del techo. El mineral se explota con explosivos y luego se transporta al pozo utilizando un sistema de rieles subterráneos, camiones de volteo o una cinta transportadora. Las obras antiguas se rellenan con material de desecho en algunas minas para mejorar la ventilación al forzar el aire a viajar solo a través de las áreas en las que se está trabajando, además de proporcionar más soporte en el techo.

### Salmueras de litio

Las salmueras que contienen litio se encuentran bajo tierra en rocas a distintas profundidades y con distinta porosidad. Para acceder a estos pozos de salmuera se perfora el acuífero en donde se encuentra la salmuera y posteriormente se bombea la salmuera para llevarla a superficie. El número, la ubicación y espaciamiento entre pozos dependerá de las características del acuífero de la salmuera así como su geometría, tamaño, porosidad, profundidad y gasto requerido.

Como ejemplo podemos citar a Clayton Valley el cual tenía en 1969 alrededor de 30 pozos con un gasto de 500 l/s, mientras que SQM en el Salar de Atacama tenía 40 pozos productivos a finales de 1980 con un gasto poco mayor a 1400 l/s.

En el caso de las salmueras geotérmicas o de yacimientos petrolíferos, la extracción de litio sería un subproducto o coproducto de las operaciones existentes y, en consecuencia, el espaciamiento de los pozos y las tasas de flujo generalmente se determinarían por los requisitos de esas otras operaciones.

	TIPO DE YACIMIENTO	DESCRIPCIÓN	GRADO TÍPICO	EJEMPLOS
MINERALES	Pegmatitas	Rocas ígneas de grano grueso formadas durante la etapa final de cristalización de magmas.	1.5 - 4% Li <sub>2</sub> O	Greenbushes, Australia; North Carolina EE. UU.; Bikita, Zimbabwe
	Hectorita	Lentes de esmectita asociados con centros volcánicos	0.4% Li <sub>2</sub> O	Kings Valley, EE. UU.; Bacanora, México
	Jadarita	Sedimentos alterados en cuencas endorreicas	1.5% Li <sub>2</sub> O	Jadar, Serbia
SALMUERAS	Continental	Salinas o salaras en cuencas endorreicas con enriquecimiento de litio por hidrotermalismo	0.4 - 1.5% Li	Clayton Valley, EE. UU.; Salar de Atacama, Chile; Salar del Hombre muerto, Argentina
	Geotérmicas	Altos niveles de contenido de litio en vapor en centrales geotérmicas	0.01 - 0.035% Li	Salton Sea area, EE. UU.
	Petrolíferas	Altos niveles de contenido de litio en agua o salmueras producidas en campos petrolíferos	0.01 - 0.05% Li	Campo Smackover, EE. UU.

Tabla 1: Factores clave de los yacimientos de litio y sus concentraciones Modificada de: British Geological Survey (BGS) (agosto 2, 2016).

**Video explicativo:** [https://www.youtube.com/watch?v=Oaxs7EEIp4k&ab\\_channel=EpirocUndergroundMiningandTunneling](https://www.youtube.com/watch?v=Oaxs7EEIp4k&ab_channel=EpirocUndergroundMiningandTunneling)

### Procesado

#### Yacimientos de roca dura

La primera etapa del procesamiento de menas de litio involucra un beneficio físico para incrementar el contenido de litio. Este proceso comienza normalmente en la mina o cerca de ella debido a que implica triturar la mena y separarla de la ganga, utilizando una amplia variedad de procesos físicos y químicos. Luego, el concentrado se somete a un beneficio químico para recuperar el litio.

#### Beneficio físico

Después del minado, la mena es triturada y los minerales de litio separados con base a sus propiedades físicas, eléctricas y magnéticas para formar el concentrado. Los procesos de separación física utilizados incluyen el cribado en húmedo y en seco y la separación por decantación, métodos magnéticos, electrostáticos y magnetohidrostáticos, según las propiedades del mineral y los materiales de ganga. Se logra una mayor concentración de litio mediante **flotación por espuma**, separación de medios densos (DMS) o una combinación de dos métodos.

La flotación por espuma implica el uso de agua, productos químicos y aire comprimido para separar los minerales de litio. Primero se agrega agua al mineral en polvo para producir una suspensión. El aire se sopla hacia arriba a través de los tanques y luego se agregan productos químicos que hacen que los minerales específicos sean repelentes al agua y hacen que las burbujas de aire se adhieran a sus superficies. En consecuencia, estos minerales se acumulan en una espuma en la superficie y se eliminan. DMS utiliza líquidos pesados de una densidad adecuada, de manera que los minerales más livianos que el líquido flotan y los más densos se hunden. Si el depósito es de grano grueso, la flotación puede no ser necesaria y se puede producir un concentrado usando solo métodos de separación por gravedad.

Un concentrado típico adecuado para la producción de carbonato de litio generalmente contendrá entre 6% y 7% de  $\text{Li}_2\text{O}$  (75% a 87% de espodumena), mientras que un concentrado de grado superior utilizado en cerámica y otras aplicaciones que requieren especificaciones químicas específicas contiene aproximadamente un 7,6% de  $\text{Li}_2\text{O}$  y un contenido de hierro más bajo.

#### Procesamiento químico

Después del beneficio físico para producir un concentrado de litio, se requiere un procesamiento posterior para producir productos químicos de litio o metal de litio. Se han sugerido muchos métodos diferentes para recuperar litio de su mineral, pero el método más comúnmente utilizado es el proceso de lixiviación con ácido.

**Video explicativo** [https://www.youtube.com/watch?v=Eo79DbmpaIA&list=LL&index=3&ab\\_channel=NaveenJegatheesan](https://www.youtube.com/watch?v=Eo79DbmpaIA&list=LL&index=3&ab_channel=NaveenJegatheesan)

La  $\alpha$ -espodumena en estado natural tiene una estructura monoclinica y en esta forma no es posible la lixiviación. Por lo tanto el primer paso de ambos métodos: lixiviación acida y carbonatada es convertida a  $\beta$ -espodumena (esta fase presenta una red cristalina tetragonal) mediante calentarlo en un horno a  $1050^\circ\text{C}$  durante 15 minutos provoca una transformación de fase. El tostado provoca que el la estructura se expanda haciendo que el mineral sea menos denso para que el litio se pueda extraer químicamente.

Después de la conversión a  $\beta$ -espodumena, la primera etapa del proceso de lixiviación acida consiste en tostar una mezcla de espodumena finamente molida y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a  $250^\circ\text{C}$  para formar sulfato de litio. A esto le sigue un paso de lixiviación para separar el litio. Durante la sulfatación y lixiviación de impurezas como hierro, aluminio y magnesio se convierten a la forma de sulfato. Por lo que se lixivian junto con el litio. Para eliminar estas impurezas se necesita diluirlas en agua de sulfato de litio ( $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ) seguido de una separación liquido-sólido por filtración, produciendo una solución de sulfato de litio con niveles traza de magnesio y calcio como únicas impurezas significativas.

La solución de sulfato de litio purificada se trata con carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) para precipitar carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) insoluble. Este producto se seca antes de ser vendido o utilizado por el productor como materia prima en la producción de otros compuestos de litio. El carbonato de litio con este método puede alcanzar un grado mayor a 99.3% de pureza pero en el caso de que se desee utilizar para el grado de batería (99.5%  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) la pureza requiere un procesamiento posterior como la bicarbonatación.

Un método alternativo, conocido como lixiviación de carbonatos, Primero se trata de combinar el concentrado de  $\beta$ -espodumena con agua para hacer una suspensión de grano fino. Esta mezcla es entonces reacciona con el carbonato de sodio a  $215^\circ\text{C}$  y 2140 kPa en un recipiente a presión y se agrega dióxido de carbono para convertir el carbonato de litio insoluble en un bicarbonato más soluble. Con las condiciones de reacción adecuadas, los contaminantes como el sodio, el aluminio y el hierro se precipitan en este escenario. Los productos de carbonato de litio son posteriormente precipitados y se elimina el exceso de carbonato, el cual es reciclado en el proceso.

#### Arcillas que contienen litio

De acuerdo con el informe técnico del estudio de viabilidad preliminar para el proyecto Lithium Nevada propone un proceso de dos etapas para la extracción de litio en arcillas (hectorita). La etapa de preparación del mineral en seco consiste en triturar y moler el mineral en dos reactivos: anhidrita y dolomita, que luego se mezclan y combinan en un granulador. Los gránulos resultantes se secarían, calcinarían y luego se enfriarían. La segunda etapa, un proceso de recuperación en húmedo, implicaría lixiviar la calcina con agua a  $70^\circ\text{C}$  para crear una salmuera a partir de la cual se precipitarían a su vez calcio, sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), carbonato de litio y sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). El carbonato de litio se precipitaría tras la adición de carbonato de sodio y los cristales resultantes se lavarían, filtrarían y secarían antes del empaque. Se estima que la tasa de recuperación de litio es del 87,2% por este método.

#### Yacimientos de salmueras continentales

Los métodos utilizados para procesar las salmueras para extraer litio variarán según la química particular que se encuentre en cada depósito. Sin embargo, el primer paso siempre implicará concentrar las salmueras, porque incluso las salmueras de mayor grado de concentración natural contienen solo concentraciones muy bajas de litio. En el caso de los depósitos de salmuera continentales, esto ocurre con frecuencia por evaporación solar en una serie de estanques superficiales (Fig. 1). El litio es más soluble que otros elementos que se encuentran en las salmueras y, por lo tanto, compuestos como el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ) o sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) precipitarán primero dejando la salmuera cada vez más concentrada en litio. Eventualmente, el litio mismo precipitará como cloruro de litio ( $\text{LiCl}$ ), pero a menudo la salmuera concentrada se elimina para su posterior procesamiento antes de esa etapa. El proceso de evaporación debe ser monitoreado cuidadosamente para evitar la precipitación de formas indeseables de estos compuestos, como la potasa ( $\text{KOH}$ ) en forma de carnalita ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en lugar de silvita y litio en forma de sal compleja en lugar de cloruro simple.



Figura 1: Fotografía aérea de una operación de salmuera de litio en el Salar de Atacama Tomada de: British Geological Survey (BGS) (agosto 2, 2016).

Para que el **proceso de evaporación solar**<sup>3</sup> sea económicamente eficaz, el área del estanque debe ser grande y estar lo más impermeable posible. Los estanques pueden sellarse con arcilla o revestirse con una membrana de plástico impermeable. Las altas tasas de evaporación también son esenciales y esto depende de la cantidad de radiación solar, humedad, viento y temperatura. Estos factores varían mucho y pueden tener un impacto en el tamaño del estanque, la concentración final de salmuera, los costos operativos y los métodos de tratamiento.

La salmuera se bombea a través de una serie de estanques de evaporación, a medida que se concentra más en litio. En términos simplificados, la serie de estanques es:

1. Primero se precipita el cloruro de sodio (sal común). Esto se puede cosechar como subproducto si es necesario.
2. Al nivel apropiado de concentración, la salmuera se transfiere a un segundo grupo de estanques en los que se precipita una mezcla de cloruro de sodio (sal) y cloruro de potasio (potasio, en forma de silvita). Por lo general, se cosechan y los dos componentes se separan en una planta de flotación.
3. La salmuera restante se canaliza a otro conjunto de estanques de evaporación donde permanece hasta que la concentración aumenta a 6000 ppm de Li (esencialmente el punto de saturación del cloruro de litio). Luego se transfiere a una planta de recuperación.

**Video explicativo:** [https://www.youtube.com/watch?v=BSveaxh502Y&list=LL&index=2&ab\\_channel=SQMdeChilealmundo](https://www.youtube.com/watch?v=BSveaxh502Y&list=LL&index=2&ab_channel=SQMdeChilealmundo)

Esta salmuera también puede estar enriquecida en boro y magnesio. El boro se elimina mediante extracción con solvente utilizando queroseno y se procesa para producir boratos y subproductos del ácido bórico ( $H_3BO_3$ ). El magnesio debe eliminarse de la salmuera ya que aumenta los costos de procesamiento de la producción de carbonato de litio. Esto se hace agregando primero carbonato de sodio para precipitar el carbonato de magnesio. Luego se agrega cal para precipitar hidróxido de magnesio ( $Mg(OH)_2$ ).

La salmuera rica en litio se trata con carbonato de sodio para precipitar una suspensión de carbonato de litio. Este se filtra y luego se lava con agua para eliminar cualquier cloruro de sodio residual. Finalmente, se seca dejando un producto de carbonato de litio > 99% puro. Las salmueras que no se utilizan se inyectan nuevamente en los salares.

Como se mencionó anteriormente, el método de extracción particular utilizado varía entre los depósitos. En el Salar de Hombre Muerto en Argentina, el proceso de extracción depende menos de la evaporación solar y, en cambio, se utiliza un proceso de intercambio iónico para extraer selectivamente el cloruro de litio. En el Salar de Rincón, después de que un primer conjunto de estanques de evaporación ha elevado el contenido de litio a 2,5 gramos por litro, la salmuera se transfiere a un reactor donde se trata con cal hidratada y sulfato de sodio para precipitar hidróxido de magnesio y sulfato de calcio. Luego, la salmuera se bombea a un segundo conjunto de estanques de evaporación solar para una mayor concentración del litio.

Los coproductos, como los minerales de potasa y boro, también se pueden producir a partir de salmueras que contienen litio (Fig. 2). Los coproductos pueden contribuir de manera significativa a la economía general del proyecto y, en ciertos casos, pueden compensar significativamente el costo de producción de litio. En el Salar de Atacama, por ejemplo, Rockwood Lithium produce cloruro de potasio (potasa) y bischofita (un mineral de cloruro de magnesio hidratado), así como carbonato de litio y cloruro de litio, mientras que SQM produce cloruro de potasio, sulfato de potasio y boro además de carbonato de litio.

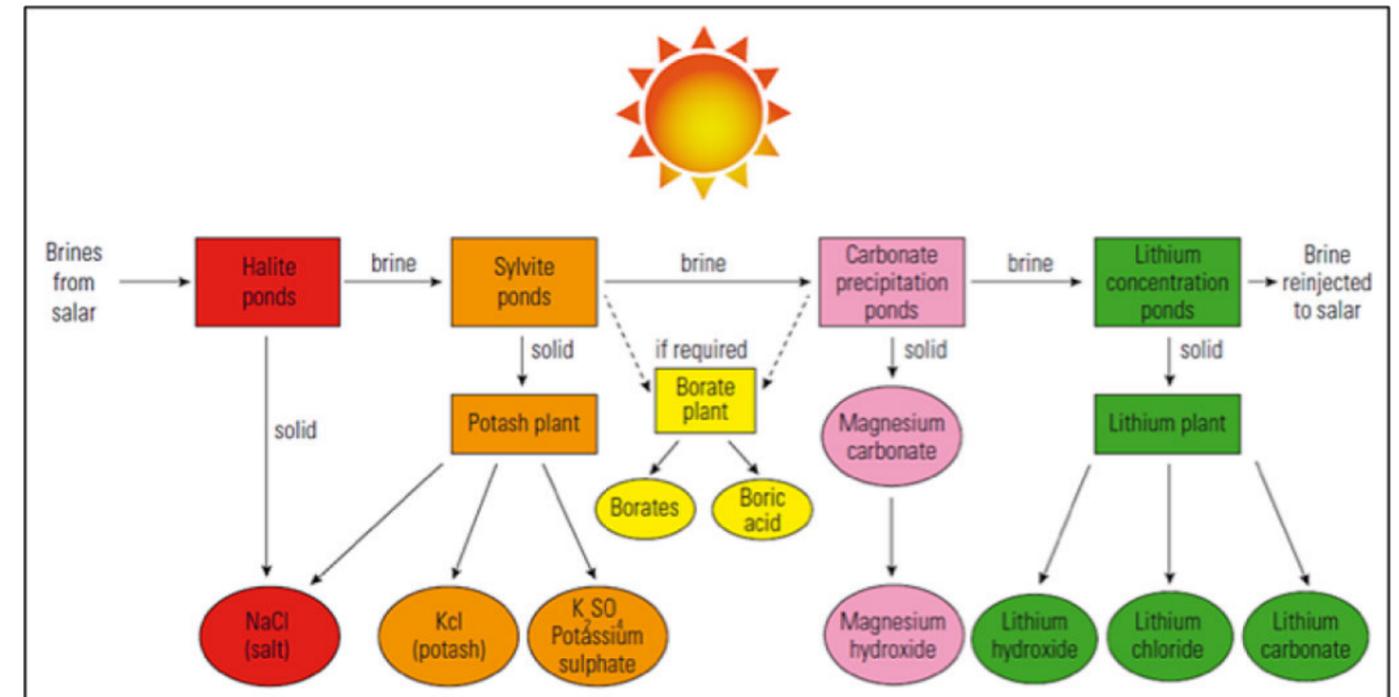


Figura 2: Proceso generalizado de extracción de litio de depósitos de salmuera, con coproductos asociados. nótese bien la secuencia exacta y los productos químicos Tomado de: British Geological Survey (BGS) (agosto 2, 2016).

### Bibliografía

- Alatorre, A. (2018) "Minerales y Rocas Industriales", Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura ESIA Ticoman Unidad Ciencias de la Tierra. Ciudad de México. Octubre 15, 2018 [apuntes de clase].
- Bradley, Dwight, and McCauley, Andrew, (2013). A preliminary deposit model for lithium-cesium-tantalum (LCT) pegmatites Noviembre 3, 2021, de U.S. Geological Survey Open-File Report 2013-1008, 7 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20131008>.
- British Geological Survey (BGS). (agosto 2, 2016). Mineral profile – Lithium. Noviembre 3, 2021, de British Geological Survey Sitio web: <https://www.bgs.ac.uk/news/mineral-profile-lithium/>
- Kogel, J., Trivedi, N., Barker, J., & Krukowski, S. (2006). Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Markets and Uses. 7th Edition Book, . Estados Unidos de America: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, (SME).
- Serbia Energy & Mining. (marzo 19, 2021). ICT metal mining case study at jadarite mine in Serbia. noviembre 6, 2021, de Serbia Energy & Mining Sitio web: <https://serbia-energy.eu/ict-metal-mining-case-study-at-jadarite-mine-in-serbia/>
- United States Geological Survey (USGS). (diciembre 19, 2017). Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply. noviembre 6, 2021, de United States Geological Survey Sitio web: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1802>
- United States Geological Survey (USGS). (enero 29, 2021). Mineral commodity summaries 2021. Diciembre 9, 2021, de United States Geological Survey Sitio web: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2021>

## La predicción sísmica en territorio de Venezuela y sus tres personajes

Compilado por: José Antonio Rodríguez Arteaga  
Colaborador de la revista

### Introducción

Al grupo de los primeros cataloguistas sismológicos pertenece Alexis Perrey (1807-1882), connotado historiador y sismólogo francés quien dedicó tiempo y estudios en compilar información sobre terremotos históricos. Es considerado uno de los pioneros en esta área del conocimiento en el que entre sus múltiples trabajos publicará un artículo sobre los eventos de Argelia en 1848 continuando sus observaciones hasta 1871. Para sentar las bases teóricas de su actividad, este intelectual francés sospechaba de una correlación lunar unida a la actividad sísmica terrestre y cuya procedencia le hará desarrollar una teoría cuyo asiento principal estará basado en la estadística.

El presente artículo pretende difundir la labor de un grupo de pioneros y estudiosos de la actividad sísmica en Venezuela y de manera particular a 2 reconocidos geocientistas, no todos “hacedores” de catálogos sismológicos que emplearon sus estudios en la predicción sísmica indagando en la data obtenida y manejada sobre los métodos empleados para el análisis de los eventos estudiados, encontrando dos trabajos para el terremoto que afectó a la ciudad de Caracas el 29 de julio de 1967, y que conmemora este 2022, el quincuagésimo quinto aniversario de su ocurrencia.

Sumado ello ha ido encontrado el dato de un tercero y muy particular personaje de los Andes vernáculos, José Ignacio Lares, que muestra al público una presunta predicción para los Andes de Venezuela pero que hasta el día de hoy no se ha encontrado soporte documental.

Al respecto, Grases (2002) verificó la existencia de 9 catálogos sismológicos regionales y/o locales en las fechas indicadas: Ibarra, 1854, 1862; Rojas, 1858; Ernst, 1891; Febres Cordero, 1910, 1929; Soto, 1932; Centeno Graü, 1940, 1969; constatando el suscrito, 2 inventarios recientes: Grases, *et al*, 1999 y Altez y Rodríguez, 2009, para inventarios de sismos sentidos y destructores, el primero correspondiente al siglo XIX y el segundo para todo el siglo XX..

### De las predicciones técnicas, los augurios y sus autores

Melchor Centeno Graü (1867-1949), ingeniero civil venezolano, desarrolla en su tiempo un muy completo y ordenado trabajo, cuya base principal será denominada “*Ley de las Coincidencias Sísmicas*” (Grases, 2002: 38) y el cual aparece publicado inicialmente en 1940, dependiente de los llamados “*Períodos sísmicos peligrosos en Venezuela*” y base principal de un libro fundamental en la sismología nacional: “*Estudios sismológicos*” el cual cubre un lapso de tiempo histórico-sísmico de 409 años, entre 1530 y 1939 desafortunadamente interrumpido por su deceso y cuyo texto completo junto a su catálogo es reimpresso y ampliado gracias a la intervención de la Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales reapareciendo en un segundo volumen revisado para 1969 y confeccionado con la colaboración del académico Dr. Guillermo Zuloaga con la autorización de los familiares de Centeno de cuya referencia ha sido tomado, referenciado y utilizado para este trabajo (véase: *Estudios Sismológicos*, 1969:89-128).

Su método, describe Grases, está basado en los *períodos sísmicos* cuyos datos son función del evento ocurrido y es calificado por Centeno como *sismo ruinoso* (intensidad, 10°, 11° y 12° de la *Escala Internacional* y IX y X grados, en la *Escala de Mercalli*) y *sismo desastroso* (9° de la *Escala Internacional* y VII grados en la de *Mercalli*).

Agrupada así a cada evento según el área geográfica de ocurrencia la que a su vez clasifica según su posición entre las tres cordilleras principales de Venezuela (región: Andina, Central de la Costa o Caribe y Oriental de la Costa).

Esta metodología lo lleva a concluir que: “*no habiendo acaecido otro sismo desastroso en 1937 en la Cordillera Central de la Costa, corresponderá al lapso de 1968 a 1971, calculado en la Nota (P) del Cuadro 2*”. Se refería al Terremoto de Caracas de 1967, el cual fue desbordado por la predicción según el autor. No se incluyen los cuadros y notas por la abundancia de data que sobrepasan más allá de los requisitos de este artículo.

Singularmente, esta predicción no fue divulgada para la fecha del Terremoto Cuatricentenario (Grases, 2002:38) y en tal caso, la población caraqueña solo se hizo eco con el “*augurio*” de una adivina italiana, Marina Marotti, la cual unos 6 meses antes de la ocurrencia del evento, profetizó (¿?) [que] ... *en una ciudad latinoamericana que festejaría su aniversario habría un potente terremoto*.

De ello se hizo igualmente eco la prensa y en particular la revista *Élite* ya extinta y de circulación nacional cuya portada, atrajo la curiosidad y la aprensión entre los habitantes de Caracas, pues mostraba dos emblemáticos edificios de oficinas públicas ubicadas en la urbanización El Silencio, cent-oeste de la ciudad capital, colapsando de manera impresionante. Mito, ficción o publicidad, Marina Marotti desapareció de la escena en forma intempestiva y nadie la recordó luego de ocurrido el terremoto.

Por su parte, Günther Fiedler, geólogo checo traído a Venezuela en los inicios de los años 1950 para ocuparse de la Dirección del Instituto Sismológico y de Mareas Terrestres del Observatorio Cagigal en Caracas, igualmente apoyó con estadísticas la sismicidad nacional. Es poco conocido un muy corto y extraño catálogo realizado por él mismo, incluyendo la transcripción de los datos de registro que abarca desde 1955 hasta 1959.

En un artículo de su autoría elaborado 5 años antes del terremoto del '67 afirma lo siguiente: “... *Únicamente la región de Caracas, casi ha sobrepasado el período sin ocurrir un sismo de importancia...*”. (Fiedler, 1962). Siendo el período al cual hacía referencia extendido hasta el año 1969,5 resultado de la siguiente operación: 1900 + 60 ± 9,5 años.

Al efecto, las unidades empleadas por Fiedler fueron: [1] **1900**, año en que se produjo el sismo antecesor que afectó la ciudad, produciendo serios daños en las poblaciones de Macuto, Guatire y Guarenas, además de Caracas, 29 de octubre de 1900; [2] **60**, el tiempo transcurrido en años hasta la elaboración de su trabajo y [3] **9,5**: error admisible en unidades de tiempo, años, en la estadística del autor.

### Cálculos y predicciones en la historia de los terremotos de los Andes venezolanos,

José I. Lares (1847-1921), escritor, poeta (Diccionario Polar, 1997), historiador y “sismólogo” (Castellanos, 1994:191), será uno de los testigos presenciales del Terremoto de Los Andes de 1894, acaecido el 28 de abril del mismo año y conocido en la literatura sismológica como el “Gran Terremoto de los Andes”, es a la vez el autor de un pequeño libro llamado “Óbolo para los Andes”, dedicado a la obtención de recursos para los damnificados. Éste, fija un lapso para la ocurrencia de otro evento como el ocurrido en 1894 y de igual naturaleza (Castellanos, *op. cit.*) en otro lugar de los Andes venezolanos, sin mencionar localidad alguna.

Afortunadamente no ocurre con las consecuencias del anterior, pero sus predicciones se hacen científicamente válidas y demostrables entre 1906 a 1912, tiempo por él calculado en que en la región que presenta un historial de intensa actividad sísmica, ocurre en Boconó y en 1912 un evento que cierra el ciclo de ocurrencia y riesgo sísmico de la región.

Llama la atención esta actividad de J. I. Lares en la que no solo es legítimo el recuento histórico, sino los cálculos elaborados hasta dar con el tiempo estipulado.

Tres diarios de circulación regional según refiere Castellanos (1994:198-200) citan el presunto trabajo sismológico de Lares aún desconocido: (1) **Boletín Comercial**: “...*se da a buscar por la estadística de los terremotos de la Cordillera de los Andes, la fecha probable de un nuevo cataclismo y la región en que pueda tener sus mayores estragos...*”; (2) **Ciencia y Letras**: “... *y luego con sobrada lógica, determina el año y la época de él en el lugar en que tendrá la próxima sacudida, así como el punto de la Cordillera donde estará el foco de la catástrofe...aunque el cálculo de las probabilidades está circunscrito a mero empirismo, basado en operaciones anteriores o en lógicas suposiciones y no en razones concluyentes, cuando no existe otro medio de conocimiento, satisface en cuanto es posible las necesidades del momento; esto en general, y con mayor razón tratándose de una ciencia que, como la geología, no puede tener hoy otro procedimiento que el vago e indeciso que se funda en observaciones incompletas y en razones en cuyo único sello de certeza se encuentra en la lógica y no en el origen de los fenómenos...*” y (3) **El Correo de la Sierra (1894)**: “...*Notoriamente incompetentes en la materia que trata, no será esto el nuestro, juicio que recomiende este trabajo de Sismología [1894] cuanto hartamente favorable lo merece del público ilustrado, dada la erudición del autor; pero si nos atrevemos a observar que, a nuestro humilde modo de ver,*

entre la embrionaria teoría de Falb, según la cual concurre a originar los terremotos una causa extra-terrestre, cual es la acción de la Luna...

En definitiva, Lares tenía probablemente dominio en el cálculo y la estadística, aplicándola en la sismología andina, pero desafortunadamente apenas existe material con el cual poder encontrar vinculación alguna en su estudio.

### Conclusiones

No todos los geocientistas que han transitado por la catalogación sísmica venezolana han realizado predicción (*sensu stricto*). Muchos, han ido recogiendo sistemáticamente información clave para el estudio de la sismicidad venezolana, sin que ello desmerezca su trabajo, todo lo contrario. Ello es una ayuda fundamental para el sismólogo, cuyo trabajo es realizado en forma interdisciplinaria.

En estas líneas, apenas hemos dado muestra de dos especialistas que trabajaron hasta recoger su trabajo en la predicción sísmica del último terremoto "caraqueño" y a la par, hemos verificado la existencia de un tercero, que sin ser sismólogo recogió datos, los cuales son necesarios encontrar, no teniendo por lo pronto información más allá que la señalada. Aún el camino es largo, pero la investigación continúa.

### Bibliografía

Altez, Rogelio y Rodríguez, José Antonio. 2009. *Catálogo Sismológico Venezolano del siglo XX. Documentado e Ilustrado*. (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS, eds.) Volúmenes I y II, Caracas, 823 pp.

Castellanos, Rafael Ramón. 1994. *Caudillismo y nacionalismo: de Guzmán Blanco a Gómez (vida y acción de José Ignacio Lares)*. Italgáfica, S. A. Caracas, Venezuela, 668 pp.

Centeno Graü, Melchor. (1940-1969). *Estudios Sismológicos*. Litografía del Comercio, 1940, Caracas. (Reimpreso, aumentado y corregido, Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Volumen VIII. 1969. Caracas, 365 pp).

Diccionario Polar. 1997. <<https://bibliofep.fundacionempresaspolarg.org/dhv/entradas/l/lares-jose-ignacio/>> [Documento en línea] (febrero 12, 2022).

Ernst, Adolfo. 1891. *Observaciones sobre los temblores en Venezuela*. Boletín del Ministerio de Obras Públicas, números 101, 103, 105, 107, 108, Caracas.

Febres Cordero, T. 1910. *Memorias*. Instituto Autónomo Biblioteca Nacional, Sala Febres Cordero, Mérida, 52 pp.

Febres Cordero, T. 1929. *Cronicón Sísmico*. El Universal, 2 de marzo 1929, Caracas, 5 pp.

Fiedler, Günther. 1962. *Resultados de estudios sísmicos y precauciones preventivas*. I Simposio Nacional sobre calamidades públicas, Instituto Sismológico, Observatorio Cagigal, Caracas, 11pp.

Grases Galofré, José. 2002. *Introducción a la evaluación de la amenaza sísmica en Venezuela. Acciones de mitigación*. (Fundación Pedro Grases). Conmemoración el Terremoto de Caracas, Caracas. Venezuela, 249 pp.

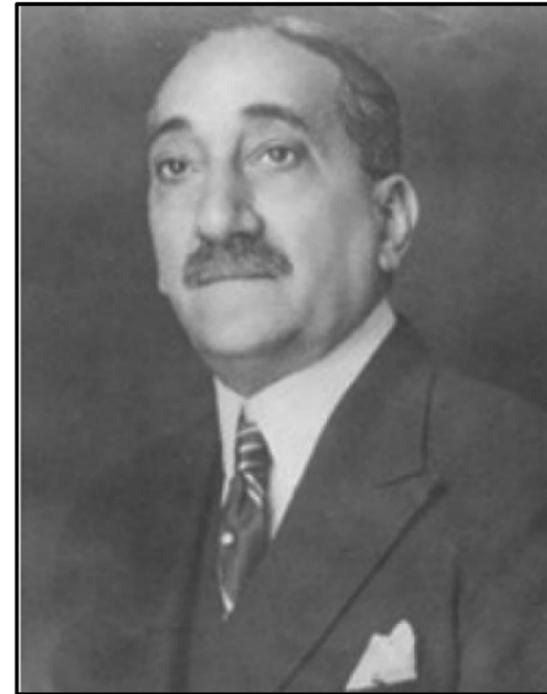
Grases, José; Altez, Rogelio y Lugo, Miguel. 1999. *Catálogo de sismos sentidos o destructores Venezuela 1530/1998*. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 654 pp.

Ibarra, Alejandro. 1854. *Temblores y lluvias en Caracas*, (Diario de Avisos, 2 de septiembre, 1854, Caracas.

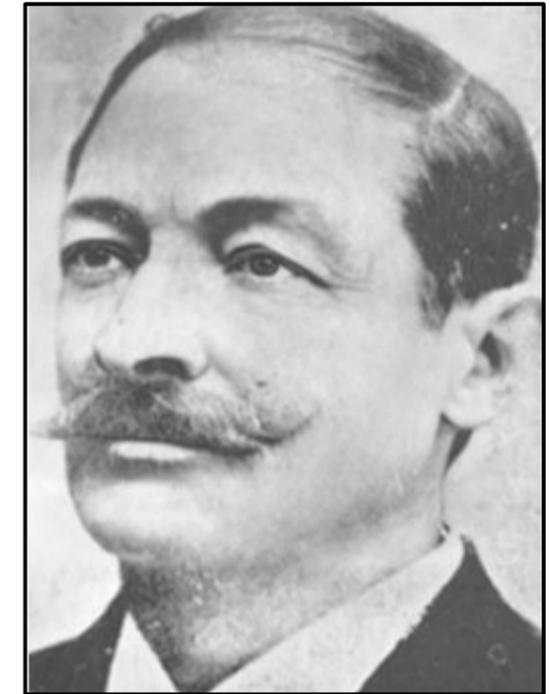
Ibarra, Alejandro. 1862. *Temblores y terremotos*. (Diario El Independiente de Caracas ediciones entre el 26 de marzo y el 7 de abril de 1862/Diez entregas sucesivas.

Rojas, Arístides, 1858. *Fragmento de un estudio geológico de los terremotos y temblores de tierra en Venezuela*. (Diario El Federalista, N° 54, Caracas).

Soto, J. F. 1931. *La sismología en Venezuela*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Caracas, (2):37-89.



Melchor Centeno Graü



José Ignacio Lares



**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)

## La geología discreta de la Península de Yucatán Part II

Octavio H. Rodríguez Tapia

2.- La desaparición de la Isla Bermeja y su posible relación con la teoría del *Graven* Ignacio Zaragoza-Chumpón.

Esta es la segunda entrega, de una miniserie de puntos sobre la geología de la Península de Yucatán.

¿Alguna vez te preguntaste sobre la isla Bermeja al norponiente de la Península de Yucatán?

En el siglo XVI aparece por primera vez en los archivos según el historiador y cartógrafo Michel Antochiw Kolpa, además de mostrarse en los mapas de Gaspar Viegas en el año 1535. Se encontraría ubicada al norponiente de la Península de Yucatán a unos cien kilómetros de la punta noroeste, específicamente a 22°, 33' N y 91°, 22' O. Las teorías conspirativas sobre su forzada desaparición por parte del gobierno de Estados Unidos son reales, sin embargo, tales proporciones de tierra no podrían ser removidas por acción del hombre. Entonces ¿Entonces, qué sucedió con la isla Bermeja?

En 1946, el oceanógrafo Justo Sierra partió de Tuxpan, Veracruz hacia la Isla "fantasma", pero, no encontró nada y la tripulación pensó que podría tratarse de un "deslizamiento geológico".

Algo que quizá, no habíamos contemplado, es lo frecuente que podría llegar a ser los deslizamientos de roca en un terreno emergido como lo es la Península de Yucatán. La Figura 1, muestra la geología del Golfo de México, en la cual se señala la posible ubicación de la Isla Bermeja, en un ambiente muy similar al "*Tongue*" Catoloché o Lengua de Catoloché; ambas se encuentran a las periferias de la península de Yucatán, sin embargo, estas se sitúan mar adentro, además de ser ambientes de aguas cálidas, donde la vida marina se desarrolla satisfactoriamente, promoviendo, la construcción de arrecifes de coral y barreras de coral, cuyas características de la roca no son del todo favorables para la cementación de las mismas "tema de una siguiente entrega".

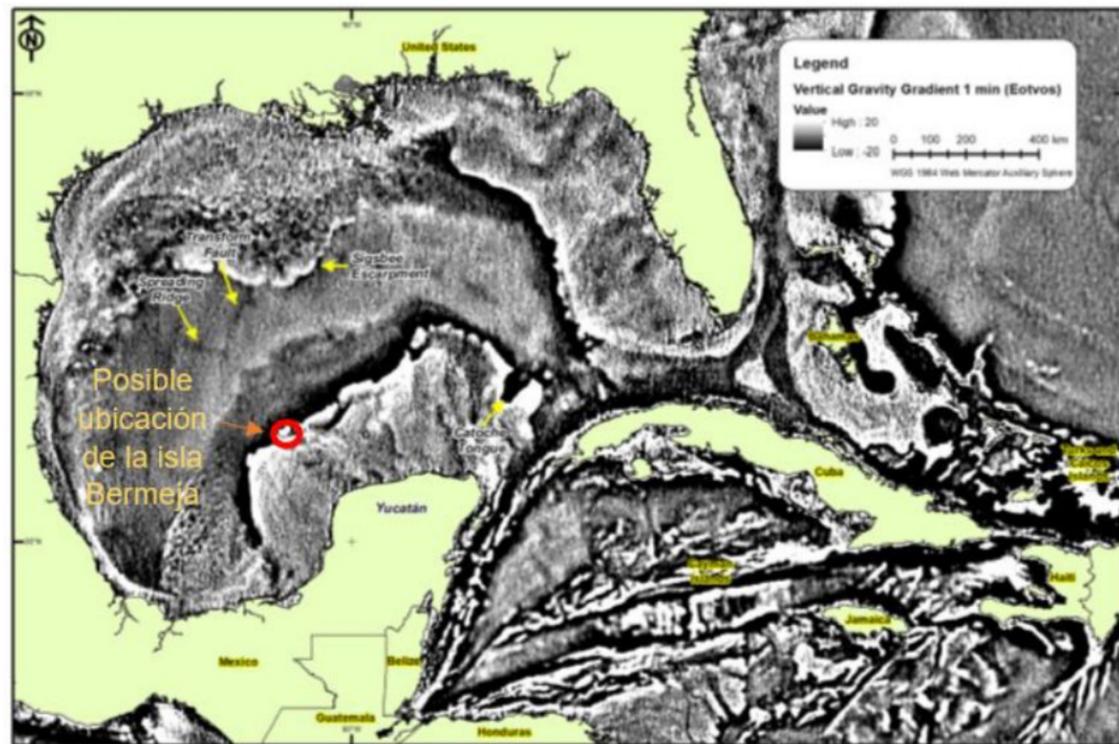


Figura 1. Posible ubicación de la isma Bermeja. Modificado de (Davison, Pindell, & Hull Jonathan, 2021)

El *Tongue* Catoloché es un deslizamiento que se dio al norte de la frontera entre Quintana Roo y Yucatán (Sandwell et., al., 2014), el cual, está delimitado por fallas de tipo normal con componente lateral, cuyos rumbos se encuentran, es decir, una estructura en forma de *Graven*. Estas fallas se muestran como rasgos a nivel del terreno, tierra dentro en la Península de Yucatán, entre los estados de Quintana Roo y Yucatán. El Servicio Geológico Mexicano lo llamó depresión Ignacio Zaragoza – Chumpón y en el informe de dicha carta, lo citan como posible *Graven* (Lemus Bustos, 2005). Estas depresiones, forman Vaguadas "tema visto en la edición anterior de la revista Maya de geociencias" (Rodríguez T. , 2021). En la Figura 2, se muestra la plantilla utilizada para el proyecto del Tren Maya, Tramo 4, donde se presentan las vaguadas alineadas al *Graven*



Figura 2. Plantilla utilizada para el Proyecto del Tren Maya, Tramo 4.

Ignacio Zaragoza - Chumpón. Para esclarecer el tema de la existencia misma del *Graven*, se muestra la relación que hay entre la isla de Cozumel y la costa de playa del Carmen y el *Graven* formado, detectado con la prueba de refracción sísmica, la cual se muestra en la Figura 3 (Rosencrantz, 1990).

Es posible que el fracturamiento y fallamiento del basamento, sobre la cual descansa la Península de Yucatán, se muestre activo por el impacto del meteorito, cuyo cráter es conocido como Chicxulub, sin embargo, la idea de la tectónica del Caribe suena por mucho, muy atractiva. Es factible que, dichos lineamientos, formen un ambiente divergente en un futuro geológico próximo, ya que, el *ridge* de las islas Caimán aproximan dicha conclusión.

Las fallas normales con componente lateral son visibles en los bancos de material, aledaños a las zonas del *Graben*, entre el estado de Yucatán y Quintana Roo tal como se muestra en la Figura 4.

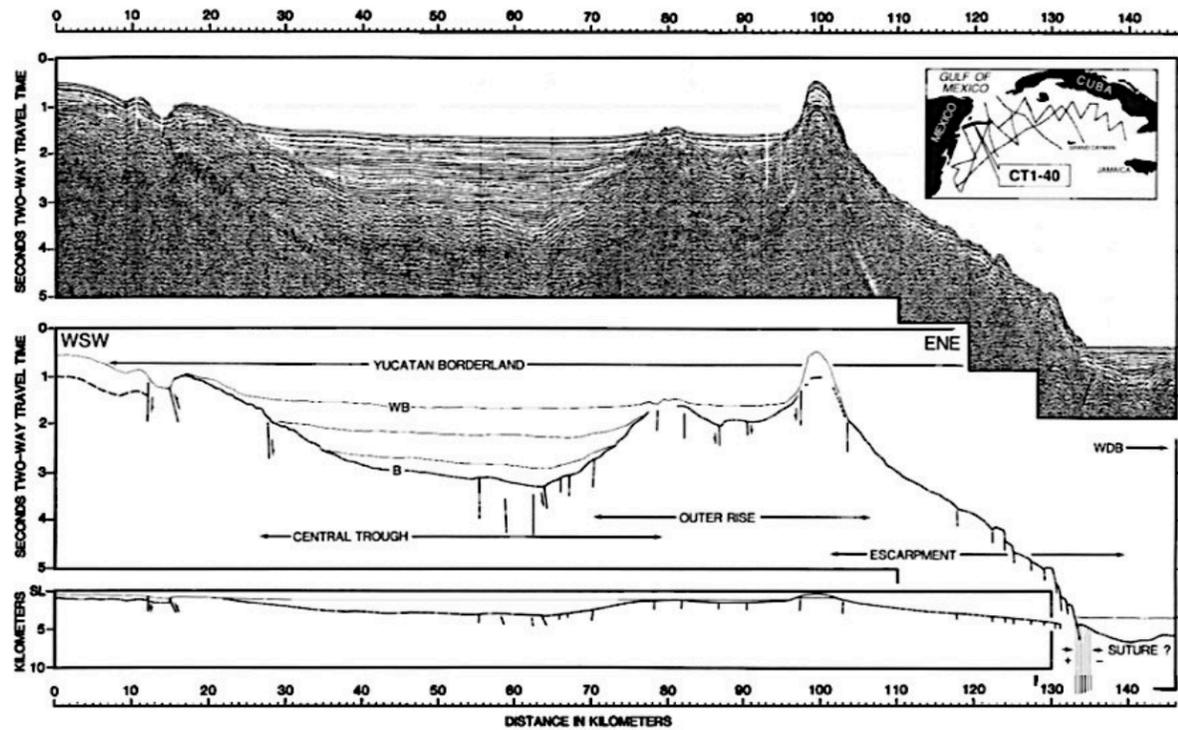


Figura 3. Tomografía sísmica entre Playa del Carmen y Cozumel. Recuperado de: (Rosencrantz, 1990).

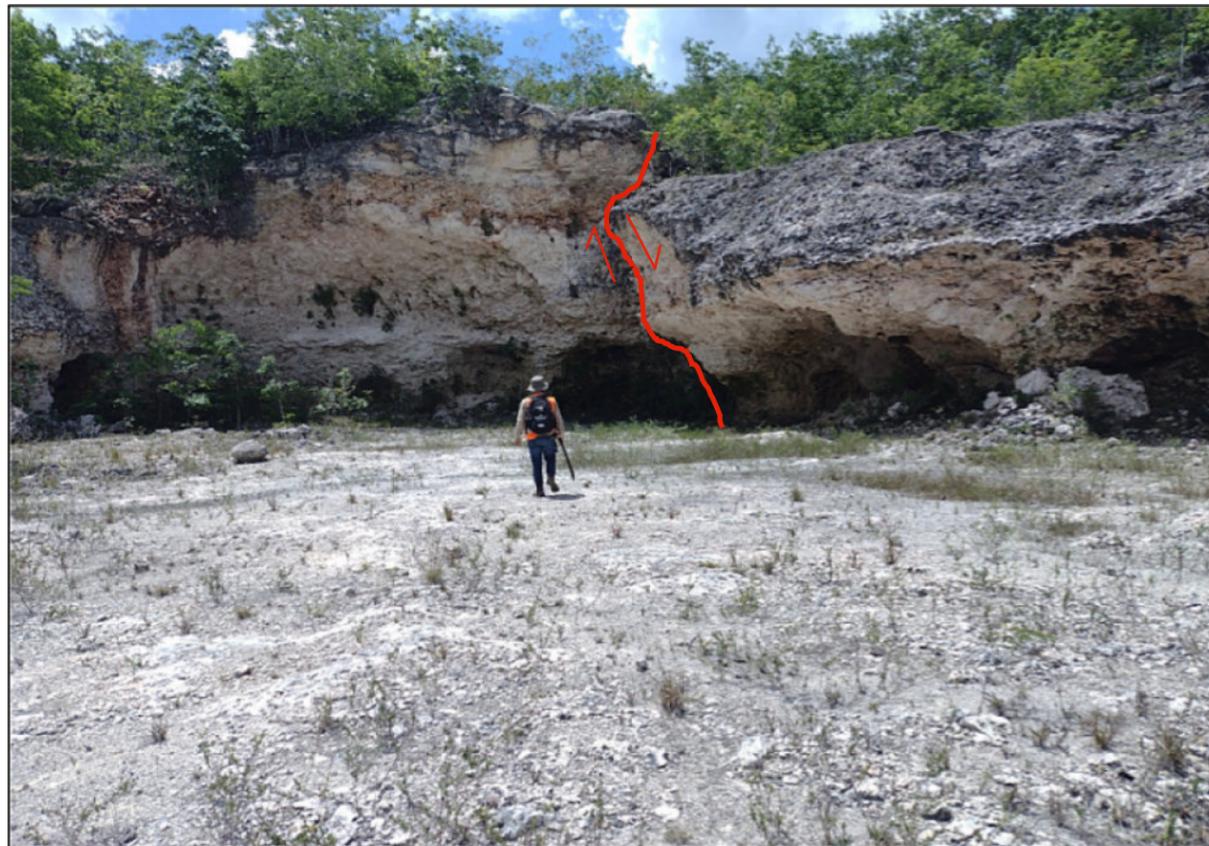


Figura 4. Fotografía tomada en un banco de material en la autopista Mérida-Cancún, cerca del poblado El Tintal, la cual muestra una falla normal con componente lateral.

Finalmente, la relación entre la desaparición de la Isla Bermeja y el *Graven* Ignacio Zaragoza – Chumpón, podría relacionarse con la proximidad que los *Tongues* mar adentro, en los dominios de la Península de Yucatán y su basamento, cuya inestabilidad de ladera submarina, se vería afectada por la propia tectónica del basamento de la Península de Yucatán.

**Bibliografía**

Davison, I., Pindell, J., & Hull Jonathan. (2021). The basins, orogens and evolution of the southern Gulf of México and Northern Caribbean. *Geological Society of London Publications*, 1-27.

Lemus Bustos, O. (2005). *Carta Geológico-Minera Cozumel F16-11, Escala 1:250,000. Estados de Tucatán y Quintana Roo.* Pachuca, Hidalgo: Servicio Geológico Mexicano.

Rodríguez T. , O. (2021). La geología discreta de la Península de Tucatan: Vaguadas. *Maya Revista de Geociencias*, 40-43.

Rosencrantz, E. (1990). *Structure and tectonics of the Yucatán Basin. Caribbean sea, as determined from Seismic Reflection Srudes.* Austin, Texas, : University of Texas Institute for Geophysics.

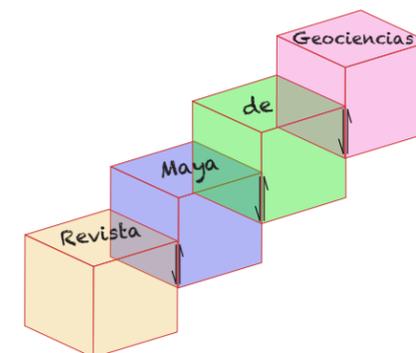
Sandwell et., al., D. (2014). New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic stricture. *Science*, 346.



Pas. **Octavio Heriberto Rodríguez Tapia**,  
Geólogo Jr. de Geotest.

Apasionado por las geociencias, egresado del Instituto Politécnico Nacional como Ing. Geólogo.

Mi experiencia en la geología de la Península de Yucatán es gracias a la participación como geólogo de campo en el proyecto ejecutivo del Tren Maya Tramo 4, Izamal-Cancún y Tramo 5 Sur, Playa del Carmen-Tulum.



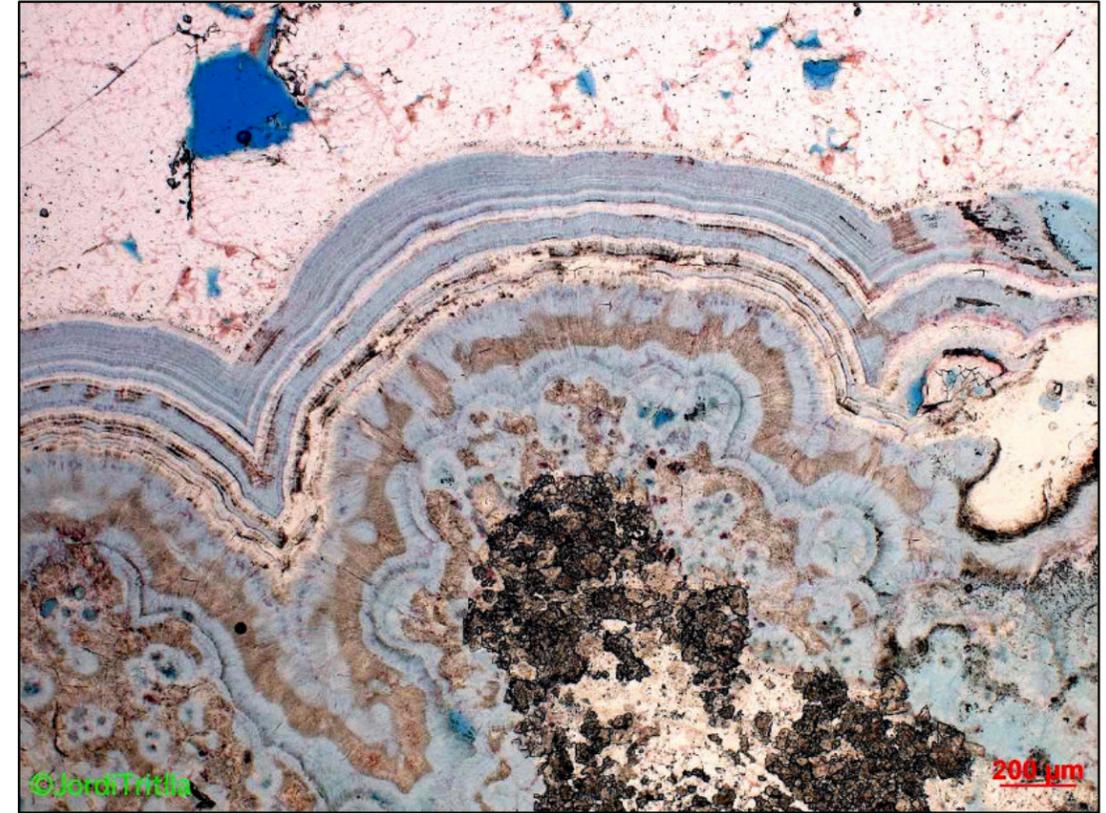


**Josh Rosenfeld (Editor):**  
Adjunto tres fotos de mi área de doctorado en la Ofiolita de Santa Cruz del Departamento de Alta Verapaz en Guatemala (años 1978 y 1979).

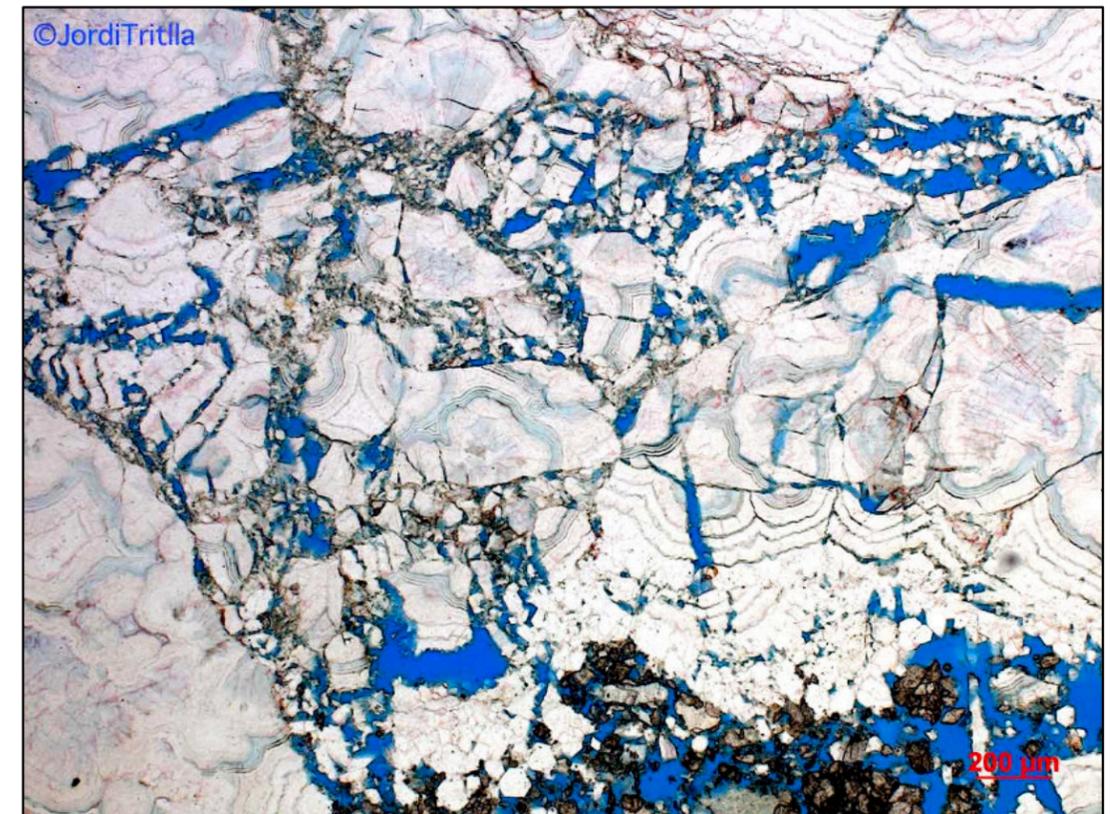


Son basaltos del Cretácico, probablemente Aptiano/Albiano, de almohadas metamorizadas hidrotermalmente hasta facies esquistos verde en un dorso oceánico del proto-Caribe. Lástima que son blanco y negro porque son bien verdes.

La primera incluye a mis compañeros de campo Macario Choc (izquierda) y Domingo Tzul (derecha) de la tribu Maya Kekchí.



Trombolito (tipo de estromatolito) originalmente de calcita y parcialmente dolomitizado, posteriormente corroído por un fluido hidrotermal que ha precipitado ópalo, ahora invertido ("envejecido") a microcuarzo y calcedonia porosas (colores azules por impregnación con resina teñida). La gran porosidad primaria del trombolito está completamente cementada por calcedonia y cuarzo (parte superior). Presal (Aptiense) de la cuenca de Kwanza (Angola). **Jordi Tritlla.**



Brecha de colapso por corrosión de los restos carbonatados de la roca original. La brecha está constituida por fragmentos angulosos de carbonato (trombolito) silicificado y por fragmentos de cemento de calcedonia-cuarzo. Posteriormente ha sufrido compactación, con el desarrollo de grietas de tensión abiertas. Presal (Aptiense) de la cuenca de Kwanza (Angola). **Jordi Tritlla.**



**Figura 1.** Lavas de basalto cortadas por una veta de aplitas. Se aprecian los pequeños xenolitos del basalto hacia el aparente acuñaamiento de la veta que, en realidad está cubierta por los restos de otra colada. Un buen ejemplo ilustrativo de asimilación y la sucesión de procesos. Río El Valle, Provincia de Chiriquí. Panamá. Foto de Humberto Álvarez Sánchez, Colaborador de la Revista.



**Figura 2.** La veta de la Figura 1 en la continuación, cambia su fábrica y presenta una cristalización casi pegmatítica. La potencia es alrededor de 1 m. La roca es ligeramente radiactiva. Río El Valle, Provincia de Chiriquí. Panamá. Foto de Humberto Álvarez Sánchez, Colaborador de la Revista.



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

## The Power of Seeps

**Jon Blickwede**  
Teyra GeoConsulting LLC  
Houston, Texas  
[www.teyrageo.com](http://www.teyrageo.com)

With so much emphasis placed on the development of new technology for finding oil & gas, and rightly so, we sometimes forget that there are some old tools and techniques that still retain their usefulness. The most ancient of all methods for petroleum exploration was first applied by early man, who discovered that a sticky black substance (biodegraded oil, or pitch) found in certain places at the Earth's surface, was an effective sealant/caulking material.

During my expatriate assignment for Amoco Venezuela in the 1990's, some of my most memorable experiences were the various excursions I took into the Orinoco Delta, where we understood that the Government was planning to offer two large blocks in the First (and turned out to be the last) Exploration Bid Round scheduled for 1996-97. The delta of the Orinoco River is roughly the same size as Switzerland, but to this day still hasn't a single road or other sort of modern infrastructure within the delta proper. By the 90's, neither had any modern seismic been acquired in the interior of the delta, or oil & gas exploration wells drilled, despite the existence of two significant oil fields on the northern (Pedernales Field) and western (Tucupita Field) delta fringe. Nevertheless, we perceived there was a significant risk that the outer portion of the delta, where one of the blocks had been defined, might be gas-prone — this part of the delta being near to the gas discoveries and producing fields of the Columbus Basin offshore eastern Trinidad. And in those years (and probably to this day), a gas discovery in the remote Orinoco Delta would have been deemed non-commercial.

The main inhabitants of the Orinoco Delta are the people of the Guarao indigenous group, thought to have settled in this

region thousands of years ago. The delta is not the most easily habitable part of eastern Venezuela, and it's believed that the Guarao were originally driven into the delta seeking refuge from more belligerent tribes in the region. There is essentially no dry ground, so the Guarao communities are built on stilts along the banks of the distributary channels. And only a single type of fruit or vegetable, ocumo chino, or dasheen, can be cultivated in the perpetually soggy ground. As such, the limited diet of the Guarao

consists of basically just two foodstuffs: the potato-like dasheen, and fish. The critical importance of the latter as their only significant source of protein means that the Guarao's fishing technology is paramount to their survival. And an essential material for that technology is pitch from oil seeps, both to seal the ends of sections of bamboo that are used as floats/bobbers set out in the channels with line and hooks on which fish bait is attached, as well as caulk for their main transportation, dugout canoes made from mangrove trees. The Guarao name for pitch is oray. Thus, my primary strategy to search for oil seeps was to travel by boat from one village to another, and inquire if anyone in the community knew of any places nearby where oray could be collected. If they claimed to know of such localities, usually a group of men would immediately offer to guide me to the site, which typically would be a

subaqueous spot in the mangrove jungle where they dove underwater and excavated in the mud with their hands and feet, emerging, amazingly, with nodules of pitch. How those hidden seeps might have first been encountered is still a great mystery to me.

I visited the environs of the exploration block in the outer delta, called Punta Pescador, on a few of my excursions. I was armed with a treasure map of sorts, a copy of an old report from a couple of geological expeditions in the 1920's that had



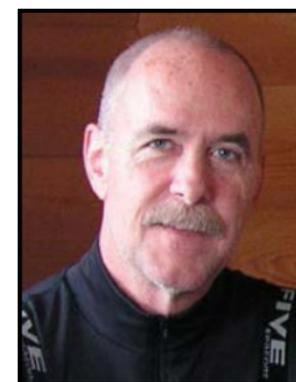
been passed to me by a friend in Caracas, in which a number of oil seeps/pitch localities were documented in the area. The localities were marked on a series of roughly sketched maps, and using these in conjunction with my usual inquiries at the Guarao communities, I searched and searched for probably a total of three weeks, to no avail. Finally, during early December 1996, just before the bid deadline for Punta Pescador and the other nine blocks in the First Round, we were traversing a small channel where we'd been before, and lo and behold found a ~50 meter stretch of the channel with oil bubbling to the surface in a number of places and spreading out in a sheen. Samples were taken and hot-shotted back to Houston for analysis, which confirmed not only that it was indeed crude oil, but also revealed the chemical composition which correlated to oil produced at the Pedernales Field far to the west. Amoco management ended up deciding to



place a significant bid (something in the neighborhood of USD 100 million, as I recall—a huge bid in those days) on the Punta Pescador block, and won. I don't believe that any bid would have been made by Amoco unless that oil seep had been confirmed.

Later, 3D seismic was acquired in the Punta Pescador block by Amoco, and a wildcat was drilled in another part of the block than the oil seep. Though the well did not reach its ultimate objective, apparently only gas was encountered, and the license was dropped. But I still recall seeing and sampling that oil seep, and the ensuing excitement and impact it created.

You might have been hoping that I'd disclose the location of the seep in Punta Pescador. Well I'm sorry... that information is just too powerful. ☺



**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 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.

## Los inicios de la enseñanza de la geología en Latinoamérica

**Victor A. Ramos**

Universidad de Buenos Aires  
Instituto de Estudios Andinos (UBA-Conicet)

El inicio de la enseñanza de la geología en Latinoamérica ha sido muy desigual, ocurrió primero en aquellos países donde la minería era un recurso importante como apoyo al progreso de las distintas comunidades.

En Latinoamérica la enseñanza de la geología comenzó en la ciudad de México, capital del virreinato de Nueva España, en el Real Seminario de Minería en 1795. Tuvo una personalidad destacada como Andrés Manuel del Río (1764-1849) que inició su dictado y estuvo a cargo de la cátedra hasta 1806. Del Río tenía una preparación académica extraordinaria, primero en España de donde era oriundo, luego en Francia<sup>1</sup>, culminando sus estudios en la Academia de Minería (*Bergakademie*) de Freiberg, la más antigua y prestigiosa academia de Europa en esta disciplina, que tenía como profesor a Abraham G. Werner (1750-1817), el máximo referente y padre de la geología de Alemania<sup>2</sup>. Además, tuvo la visita en 1803 de su ex-compañero de estudios en la Academia, Alexander von Humboldt (1769-1859), que venía de recorrer una gran parte de lo que hoy es Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú y en especial los Andes y sus volcanes. Esa experiencia la volcó para colaborar en la actualización de los Elementos de Orictognosia que Manuel del Río había publicado en 1795.



Alexander von Humboldt y Andrés Manuel del Río compañeros de la Academia de Minería de Freiberg y discípulos de Abraham Werner se volvieron a reunir en México en 1803.

Humboldt durante su estadía en México escribió un texto inédito de "*Essai de Pasigraphie* (1803)" en francés, para las clases del Real Seminario de Minería, que fue traducido y publicado por Manuel del Río en su segunda edición de *Elementos de Orictognosia* de 1805 como una *Introducción a la Pasigrafía geognóstica*. Ésta permitió de manera clara la representación de datos geológicos y cartográficos, por medio de letras, flechas, símbolos y abreviaturas para las formaciones y tipos de rocas<sup>3</sup>. En este capítulo del Río publica la primera descripción y sección geológica de la Cordillera de los Andes preparadas por Humboldt.

<sup>1</sup>) Puche Riart, 2017.

<sup>2</sup>) Escamilla González y Morelos Rodríguez, 2020.

<sup>3</sup>) Morelos Rodríguez y Moncada Maya, 2015.

Entre los pioneros de la geología y minería de Latinoamérica no puede faltar José Bonifacio de Andrada e Silva (1763-1838), brasileño nacido en Santos que a los 16 años fue a estudiar a la Universidad de Coimbra en Portugal donde egresó, complementando sus estudios en la *École Nationale supérieure des Mines* de Paris y finalmente durante dos años en la Academia de Minería de Freiberg. Fue compañero de Andrés Manuel del Río y de Alexander von Humboldt. Durante 30 años tuvo una activa vida científica en Europa, describiendo varios minerales nuevos para la ciencia y enseñando metalurgia en la Universidad de Coimbra. Si bien a su regreso a Brasil hizo importantes investigaciones geológicas volcadas en diversos informes no ejerció la docencia.



José Bonifacio de Andrada e Silva, padre de la geología brasilera.

Para la enseñanza de la geología en Brasil se debe esperar a 1876 cuando el emperador Dom Pedro II fundó la *Escola de Minas de Ouro Preto*, invitando al mineralogista francés Claude Henri Gorceix (1842-1919) a iniciar los cursos de geología, mineralogía, física y química. Esta escuela de minas convergió mucho más tarde en la creación de la *Universidade Federal de Ouro Preto*.

En Perú se inició la enseñanza de la geología en 1851 en el Colegio de Medicina de San Fernando en Lima por Antonio Raimondi (1826-1890)<sup>4</sup>. Una de sus primeras tareas al llegar a Lima fue organizar un Gabinete de Historia Natural en el Colegio de la Independencia. Este sabio italiano y autodidacta enseñó geología por más de 20 años, realizó importantes investigaciones a través de gran parte del Perú y fue autor de numerosas e importantísimas obras<sup>5</sup>.

<sup>4</sup>) Camacho, 1971.

<sup>5</sup>) Seiner Lizárraga, 2003.



Dos pioneros de la enseñanza de la geología en América del Sur: Ignacio Domeyko en 1838 en Chile y Antonio Raimondi a partir de 1851 en Perú.

En Chile la enseñanza se inicia con Ignacio Domeyko (1802-1889), naturalista polaco que inició sus estudios en la Universidad de Vilnius en Lituania, donde obtuvo un magister en matemáticas en 1822. Su participación en las revueltas contra la invasión rusa lo llevaron al exilio en Alemania<sup>6</sup>, donde inició estudios en la Academia de Minería de Freiberg, de donde la presión diplomática rusa lo obligó a exiliarse en París en 1832. Realizó estudios de geología en la Sorbona con los maestros Elie de Beaumont y Alexandre Brongniart. Finalizó su formación en la *École Nationale Supérieure des Mines* de París donde egresó en 1837 como ingeniero de minas<sup>7</sup>. Llegó a Chile donde comenzó a enseñar en 1838 Mineralogía y Química en el Liceo San Bartolomé de La Serena. Seis años después comenzó sus cursos en el Instituto Nacional de Santiago. A partir de 1842 al fundarse la Universidad de Chile, enseñó por 40 años en esta institución, alcanzando el cargo de rector que ejerció hasta 1883<sup>8</sup>. Fue autor de numerosas publicaciones que fueron reunidas en cinco tomos en 1903 en su homenaje.

En la Gran Colombia<sup>9</sup> hubo un importante intento de comenzar con la enseñanza de la geología en 1823 con la creación del Museo de Historia Natural vinculado a una Escuela de Minas en Bogotá. A través de una misión de especialistas franceses gestada por el gobierno patrio llega a Colombia al año siguiente Jean Baptiste Boussingault (1801-1887), ingeniero de minas que prestó importantes servicios al gobierno hasta 1831<sup>10</sup>. El Museo de Historia Natural tenía en sus estatutos como objetivo la apertura de cátedras de geología y mineralogía con una contraparte aplicada en la Escuela de Minas. La estructura académica de ambas instituciones era similar a la de sus pares en Francia<sup>11</sup>. En 1826 ambas instituciones se fusionan con la recientemente creada Universidad Nacional de Bogotá. A lo largo de su primera década, sus intenciones progresistas tropiezan con el grave déficit financiero de la nación que no permite alcanzar sus planes de desarrollo, en especial con la crisis política de 1830 que lleva a la disolución de la Gran Colombia. Sin embargo, esa misión francesa dio la oportunidad para que Joaquín Acosta (1800-1852) fuera a París a estudiar mineralogía, geología e ingeniería en 1825, siendo el primer colombiano con estudios formales de geología<sup>12</sup>. Escribió un texto sobre geología en la Nueva Granada, pero sus actividades político-militares le impidieron en cierta forma dedicarse a pleno a su vocación científica.

<sup>6</sup>) Lastarria Cavero, 1936.

<sup>7</sup>) Hervé y Charrier, 2016.

<sup>8</sup>) Charrier et al., 2018.

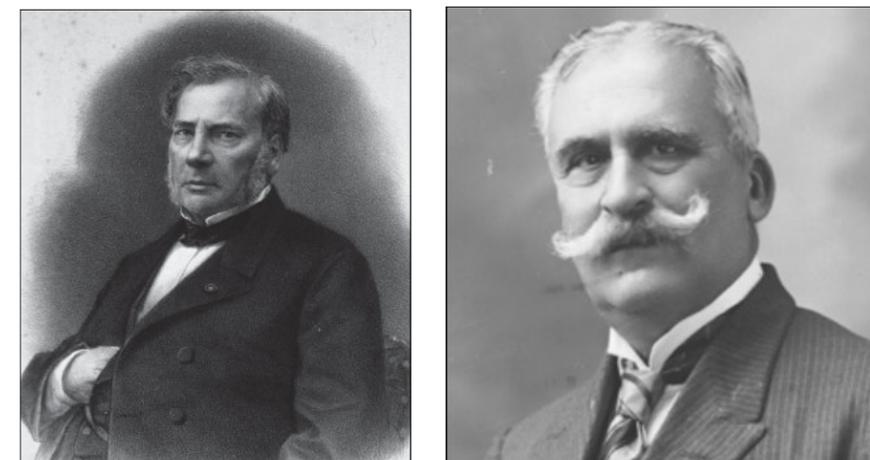
<sup>9</sup>) Integrada además por las actuales Venezuela, Ecuador y Panamá.

<sup>10</sup>) Espinosa Baquero 1816, p. 38.

<sup>11</sup>) Rodríguez Prada, 2009.

<sup>12</sup>) Espinosa Baquero, 2016.

Se debe esperar a la segunda mitad del siglo para la fundación de la Escuela Nacional de Minas de Medellín en 1887. Esta escuela fue fundada por Tulio Ospina (1857-1921), quien luego de sus estudios iniciales en la Universidad de Antioquía se dirige a Estados Unidos para realizar una especialización en Ingeniería de Minas en la Universidad de Berkeley por dos años graduándose en 1879. Regresa a Medellín en 1881 y participa en la fundación de la Escuela de Minas en 1887, primero como profesor y luego como rector hasta su muerte<sup>13</sup>. Si bien en ese año se crea una escuela de minas en Ibagué, ésta no tuvo continuidad cerrándose a los pocos meses.



Jean Baptiste Boussingault, ingeniero de minas que vino en la misión francesa solicitada para el Museo de Historia Natural en 1824 que realizó importantes aportes geológicos y Tulio Ospina primer profesor de geología y minas en 1887 de la Escuela Nacional de Minas en Medellín.

Tulio Ospina es considerado un pionero de la enseñanza de la geología en Antioquía, que tuvo una fuerte componente de campo y que fue muy riguroso en el estudio de las rocas y yacimientos geológicos. Es además autor de la *“Reseña Geológica de Antioquía”* y fue considerado un eminente profesor de geología y mineralogía, *“que inició en Colombia el conocimiento científico y tecnológico de nuestros recursos naturales y con quien se formaron destacados profesionales en las ramas de la minería, la geología, la cristalografía y la petrografía”*<sup>14</sup>. Esta escuela fue incorporada a la Universidad de Antioquía y es actualmente la Facultad de Minería de la Universidad Nacional de Colombia<sup>15</sup>.

En Ecuador la exitosa expedición científica organizada por la Academia de Ciencias de Francia de Charles Marie de La Condamine entre 1735 y 1744 permitió medir un sector de meridiano, pero aportó poco al conocimiento geológico de esta región<sup>16</sup>. Las observaciones de Humboldt fueron de vital importancia para la polémica entre plutonistas y neptunistas, especialmente en la zona volcánica de Ecuador. Sin embargo, sus publicaciones se produjeron varios años después de su visita de principios del siglo XIX<sup>17</sup>. La enseñanza de la geología se inicia muchas décadas después con la creación del Instituto Politécnico Nacional en 1869 fundado por el presidente Gabriel García Moreno. Sus primeros profesores fueron tres sabios jesuitas que llegaron al país para enseñar en esta escuela. Se destaca entre ellos el jesuita Teodoro Wolf (1841-1924) que estuvo encargado del dictado de la geología y la paleontología, quien ya en los primeros años tuvo fuertes críticas de sus superiores por sus enseñanzas de la evolución de Darwin. Enseñó durante varios años, pero

<sup>13</sup>) Anónimo, 1922-1925.

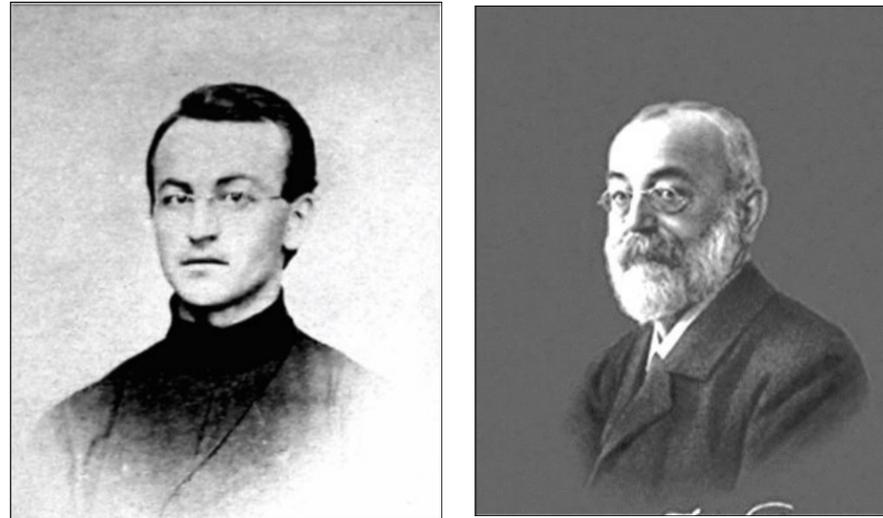
<sup>14</sup>) Don Tulio Educador y sabio por Héctor Ocampo Marín.

<sup>15</sup>) Anónimo, 1922-25.

<sup>16</sup>) La Condamine, 1851.

<sup>17</sup>) Véase Ramos, 2022.

tuvo que renunciar a los hábitos y fue contratado por el presidente como geólogo del estado, produciendo como legado una importante obra, la *Geografía y Geología del Ecuador* de 1892<sup>18</sup>. Esta fue impresa por orden del gobierno, y contiene una pormenorizada descripción de sus viajes y hallazgos. Fue responsable de introducir las ideas darwinistas sobre la evolución en Ecuador<sup>19</sup>.



Teodoro Wolf como joven jesuita y a edad madura.

#### Los inicios de la enseñanza de la geología en Argentina

La enseñanza de la geología comenzó más tarde que en esos países donde la minería era un recurso primordial, recurso que no lo es aún en nuestros días. Los pioneros de la geología en este sector de América del Sur han sido predominantemente los naturalistas viajeros como Tadeo Haenke<sup>20</sup>, Charles Darwin<sup>21</sup> y Alcide D'Orbigny<sup>22</sup>. Una excepción a las investigaciones de estos naturalistas extranjeros es el trabajo de Dámaso Larrañaga (1771-1848), un naturalista rioplatense que hizo el primer estudio geológico de las Provincias Unidas del Río de la Plata en 1819<sup>23</sup>.

La creación del Departamento de Ciencias Exactas incluyendo las naturales en 1865 en la Universidad de Buenos Aires, tuvo más bien una orientación científica y estuvo orientado a formar ingenieros. Se contrataron tres profesores de Italia que dictaron las matemáticas puras y aplicadas, la física y la historia natural. Comenzaron los cursos con la llegada de Pellegrino Strobel (1821-1895), sabio italiano procedente de la Universidad de Parma, quien estuvo a cargo de la historia natural.

Pellegrino Strobel accedió venir a la Argentina, tratando de emular los pasos de Alexander von Humboldt en el norte de América del Sur. Además de comenzar con la enseñanza el 7 de julio de 1865, tuvo entre sus prioridades realizar un estudio de los Andes a través de Mendoza, en el segmento conocido como de la Alta Cordillera. En este sentido siguió los pasos de Charles Darwin, quien había realizado el primer cruce de los Andes por este sector en 1835, pero procedente de Chile. Su travesía remontando el río Mendoza, cruzando por el Paso de la Cumbre hasta llegar a Santiago y regresando desde Curicó por el Paso del Planchón hasta San Rafael estuvo plena de

situaciones azarosas. Paso del Planchón hasta San Rafael estuvo plena de situaciones azarosas. Este último cruce de regreso fue el primero que se hacía a estas latitudes y estuvo coronado por importantes hallazgos. Al atravesar la cordillera encontró a gran altura los primeros estratos marinos y fosilíferos de edad liásica, además de otras importantes observaciones. Este viaje de vuelta lo hizo al sur de la frontera con el indio en esos años y sus relatos publicados en la primera revista científica argentina en 1866, no solo aportan sus contribuciones científicas, sino que está lleno de vívidas experiencias en una tierra desconocida.

Sin embargo, su contribución más importante es el haber establecido un gabinete de Historia Natural en la universidad en 1866, que sirvió durante décadas para la enseñanza de mineralogía, la paleontología, la botánica y la zoología a sucesivas generaciones de estudiantes.

Strobel formó a la primera generación de ingenieros argentinos que egresaron en 1870. En esos años la mineralogía y geología eran disciplinas de apoyo para el estudio de la ingeniería. Pasaron varios años hasta que se organizó el doctorado en ciencias naturales con orientación en geología en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.



Pellegrino Strobel y Juan Ramorino, dos profesores italianos que iniciaron la enseñanza de la geología en la Universidad de Buenos Aires entre 1865 y 1876.

Strobel cumplió su contrato de dos años y volvió para Parma desde donde realizó numerosas contribuciones científicas de lo que había observado en Argentina. Le siguió otro profesor venido de Italia, Juan Ramorino (1840-1876), quien enseñó hasta su fallecimiento en 1876.

En esos años fue creada la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba que contrató a varios científicos de primer nivel, entre ellos a Alfred Stelzner (1840-1895). Este geólogo alemán formado también en la Academia de Minería (*Bergakademie*) de Freiberg arriba al país en 1872, iniciando un período de intensa investigación geológica. Sin embargo, las dificultades que tenían para enseñar en español, él y sus compañeros, impidieron dar clases en la antigua Universidad Nacional de Córdoba, regresando en 1874 a Alemania<sup>24</sup>. La Academia lo reemplazó por Ludwig Brackebusch (1849-1906), otro geólogo alemán que brindó importantes servicios hasta su fallecimiento en Córdoba.

El primer profesor de geología, argentino y egresado de la Universidad de Buenos Aires fue en 1878 Eduardo Aguirre (1857-1923). Aguirre fue profesor durante casi 30 años de geología. Continuó esta tarea Enrique M. Hermitte (1871-1955), quien se graduó de ingeniero de minas en 1894 en la *École Nationale Supérieure des Mines* de París. Fue el profesor y el director de tesis de los primeros doctores con orientación geológica a partir de 1914 cuando egresaron los primeros geólogos argentinos y se consolidó la profesión a través del doctorado en ciencias naturales.

<sup>18</sup>) Wolf, 1892.

<sup>19</sup>) Cuvé et al., 2014.

<sup>20</sup>) Ramos y Alonso, 2019.

<sup>21</sup>) Aguirre-Urreta et al., 2009.

<sup>22</sup>) Ramos, 2011.

<sup>23</sup>) Ramos, 2020.

<sup>24</sup>) Toselli y Rossi, 2007; Depetris, 2019.



Enrique M. Hermitte y Eduardo Aguirre primeros argentinos profesores de geología en la Universidad de Buenos Aires.

Esta escuela de geología creada hace ya más de 150 años continuó la formación de geólogos hasta la actualidad en la Universidad de Buenos Aires<sup>25</sup>.

#### **Consideraciones finales**

Esta breve síntesis sobre la iniciación de la enseñanza de la geología en Latinoamérica permite hacer algunas interesantes consideraciones.

En primer lugar, solo México tuvo durante el período colonial la fundación de una Escuela Real de Minas como uno de los últimos coletazos de la ilustración española. La escuela fundada en 1792 por Fausto Fermín de Elhuyar, egresado de la Academia de Minería (*Bergakademie*) de Freiberg, permitió la llegada de Manuel del Río y el inicio de la enseñanza en 1795.

Le siguen Domeyko en 1838 en Chile, Raimondi en 1851 en Perú, Strobel en 1865 en Argentina, Wolf en 1869 en Ecuador, Gorceix en 1876 en Brasil y Ospina en 1887 en Colombia. Es notable la influencia que tuvo la Academia de Minería de Freiberg en formar a los ingenieros de minas y geólogos que iniciaron la enseñanza, no sólo a fines del siglo XVIII con Manuel del Río, José Bonifacio y Alexander von Humboldt, sino como vemos con Domeyko y Stelzner a mediados del siglo XIX, en especial este último quien no solo se formó en esa academia, sino que a su vuelta a Alemania estuvo a cargo de la enseñanza de la geología en Freiberg. Hay que destacar también la importancia que ha tenido la *École Nationale Supérieure des Mines* de París donde egresaron tanto Domeyko como Hermitte en esos años.

Como corolario se puede afirmar que el inicio de la enseñanza en estos países del nuevo mundo significó ingentes esfuerzos para su comienzo, en especial para las jóvenes naciones envueltas todavía en procesos de independencia. En esas situaciones se destacaron la tenacidad, la ambición por conocer nuevos mundos y la curiosidad para aprender de estos precursores venidos desde Europa que sembraron la primera semilla que permitió a los criollos desarrollar diferentes escuelas donde aún se sigue enseñando a las nuevas generaciones.

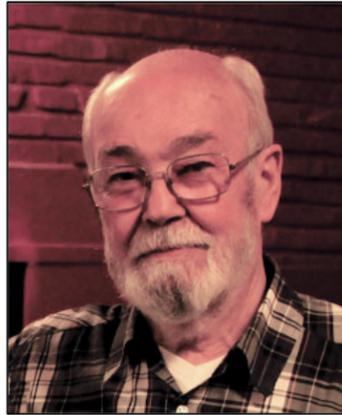
<sup>25</sup>) Ramos 2016, 2018.

#### **Referencias**

- Aguirre-Urreta, B., Griffin, M., y Ramos, V.A., 2009, Editores Invitados. Darwin en la Argentina, Revista de la Asociación Geológica Argentina 64(1): 1-180.
- Anónimo, 1922-1925. Homenaje de la Escuela Nacional de Minas a la memoria de don Tulio Ospina. Anales de la Escuela Nacional de Minas 2-3(21-25): 641-729. Medellín.
- Camacho, H.H. 1971. Las Ciencias Naturales en La Universidad de Buenos Aires. Estudio Histórico, Eudeba, Temas, 150 p., Buenos Aires.
- Charrier, R., Aguirre, L., Hervé, F., Klohn, E. y Thiele, R. 2018. La carrera de Geología en la Universidad de Chile. Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 5 (Suplemento 1): 49-62.
- Cuvi, N., Sevilla, E., Sevilla, A. y Piñas, F. 2014, La circulación del darwinismo en el Ecuador (1870-1874). Procesos: Revista ecuatoriana de Historia 39: 115-142.
- Depetris, P.J. (ed.) 2019. La Academia Nacional de Ciencias, 150 Años acompañando la Ciencia Argentina, ANC, 400 p., Córdoba.
- Escamilla González, F.O. y Morelos Rodríguez, L. 2020. Bringing Werner's teaching to the New World: Manuel del Río and the Chair of Mineralogy in the School of Mines in Mexico (1795-1805). Earth Sciences History 39(2): 246- 261.
- Espinosa Baquero, A. 2016. El Servicio Geológico Colombiano 1916 – 2016 ~ Cien años al servicio de Colombia. Colección Centenario del Servicio Geológico Colombiano, Serie Historia, volumen 1, 261 p., Bogotá.
- Hervé, F. y Charrier, R. 2016. Legado de Ignacio Domeyko (1802 - 1889) a la geología y a la institucionalidad científica de Chile. En La Historia de la Geología en el Bicentenario de la Argentina, Revista del Museo de La Plata 1(Número especial): 138-148, La Plata.
- La Condamine, C.M. 1851. Journal du voyage fait à l'Equateur servant d'introduction historique à la Mesure des trois premiers degrés du Méridien. L'Imprimerie Royale, 358 p., Paris.
- Lastarria Caverro, B. 1936. Ignacio Domeyko y su época, 1802-1888. Sociedad Imprenta y Litografía Universo, 155 p., Viña del Mar.
- Morelos Rodríguez, L. y Moncada Maya, J.O. 2015. Orígenes y fundación del Instituto Geológico de México. Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia 67(2): 1-23
- Puche Riart, O. 2017. Andrés Manuel del Río, Estudio crítico. Biblioteca Virtual de Polígrafos 90 p., Madrid.
- Ramos, V.A. 2011. Doscientos años de Ciencias de la Tierra en Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 68(3): 392-406.
- Ramos, V.A. 2016. El inicio y desarrollo de la Geología en la Universidad de Buenos Aires. Revista del Museo de la Plata, Número especial, 2016(1): 217-227.
- Ramos, V.A. 2018. El desarrollo de la Geología en la Universidad de Buenos Aires. Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Nueva Serie 5(Suplem. 1): 23-32.
- Ramos, V.A. 2020. El primer estudio geológico de las Provincias Unidas del Río de la Plata: Los aportes de Dámaso A. Larrañaga. Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 7(sup. 1): 53-62, Córdoba.
- Ramos, V.A. 2022. Humboldt's Interpretation of the Andean Geology. Nationale Akademie der Wissenschaften, en prensa, Halle.
- Ramos, V.A. y Alonso, R.N. 2019. Tadeo Haenke: primer naturalista del Virreinato del Río de la Plata. Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 70 (2018): 117-146, Buenos Aires.
- Rodríguez Prada, M.P. 2009. Investigación y museo: Museo de Historia Natural de Colombia 1822-1830. Cuadernos de música, artes visuales y artes escénicas 5(1): 87-108, Bogotá.
- Rodríguez-Vega, Y.J. y Chicangana-Bayona, Y.A. 2017. La enseñanza de la geología en la Escuela Nacional de Minas de Medellín, 1910-1937. Boletín de Ciencias de la Tierra 42: 55-63, Medellín.
- Seiner Lizárraga, L. 2003. Antonio Raimondi y sus vinculaciones con la ciencia europea, 1851-1890. Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines 32(3): 517-537.

Toselli A.J. y Rossi, J. N. 2008. Alfred W. Stelzner ¿Por qué solo tres años en Argentina? En Aceñolaza, F.G. (ed.) Historia de la Geología Argentina, Serie Correlación Geológica 24: 91–102. S.M. de Tucumán.

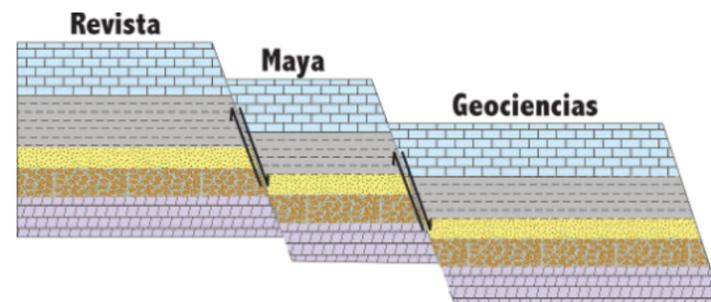
Wolf, T. 1892. Geografía y Geología del Ecuador publicada por orden del supremo Gobierno de la República. Leipzig, Alemania: Tipografía de F. A. Brockhaus, 671 p.,



**Victor A. Ramos** ha dedicado más de 50 años a la comprensión de la evolución geológica de los Andes. Se graduó en la Universidad de Buenos Aires, y ha realizado estudios postdoctorales en Europa y E.E.U.U. como becario Guggenheim. Sus aportes fueron reconocidos por varias instituciones y ha sido nombrado miembro honorario de la *Geological Society of America*. Es además miembro de la *National Academy of Sciences* de los Estados Unidos y de la *World Academy of Sciences* y de las Academias de Ciencias de Chile, Brasil y Argentina. Entre otras distinciones se destaca la recepción del premio México otorgado por el ministerio de Ciencias de este país en el campo científico de Iberoamérica. Ha publicado más de un centenar de trabajos sobre la evolución geológica de Argentina y otros sectores de América del Sur. Es Investigador Emérito del Consejo de Investigaciones Científica y Técnicas y Profesor Emérito de la Universidad de Buenos Aires. Es actualmente presidente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina.

[andes@gl.fcen.uba.ar](mailto:andes@gl.fcen.uba.ar)

<https://www.researchgate.net/profile/Victor-Ramos-18>



## La psicología en los estudios de afloramientos: sesgos cognitivos heurísticos, ¿nuestros 'mejores' enemigos?

**Ramón López Jiménez**

Consultor, Instructor e Investigador independiente en Channels Geoconsultancy

No hay muchas publicaciones que traten el asunto de la subjetividad en estudios geológicos así como su impacto. Baddeley et al. (2004) exponen claramente aspectos

fundamentales de este asunto con algunas frases como: "el juicio de los expertos puede estar totalmente sesgado debido al uso de cierta heurística para guiarse en la formación de sus opiniones" o "las opiniones previas o aceptadas de cualquier persona considerada un experto afectan ciertamente el juicio de otras personas, incluyendo a aquellas que van a convertirse expertos en un futuro próximo". Vamos a hablar un poco acerca de este asunto, como sedimentólogos, desde el preciso momento en el que nos ponemos a observar un afloramiento.

El sedimentólogo llega a un afloramiento, lo observa desde cierta distancia, y luego se acerca un poco más, incluso a distancias de tan solo unos pocos centímetros. Dibuja



bocetos y columnas estratigráficas, y toma notas de todo tipo. Todo son datos objetivos, o ¿quizá no? Vamos a asumir que toda la información recogida es objetiva y completa. Después de este primer proceso de recolección de datos el sedimentólogo decide que es momento de pensar acerca del paleoambiente. Inevitablemente, algunas ideas preliminares ya han surgido en la cabeza del sedimentólogo. ¿Cómo era el paisaje cuando todas estas rocas sedimentarias que ahora observa eran tan solo partículas sueltas? ¿Un ambiente subaéreo?, o un ambiente subacuático?, ¿marino?, ¿fluvial? ¿Qué procesos movían todas estas partículas sueltas? Y esto es solo el comienzo. Toda la información que se obtiene de un

afloramiento se registra en cierto formato y más tarde puede ser incluso reformateada según los 'intereses' del sedimentólogo. La información 'bruta' del afloramiento también puede ser después procesada a través de herramientas matemáticas. En este punto la situación más común es que el sedimentólogo esté buscando ya evidencias que apoyen alguna hipótesis que tenga ya en mente. Esta etapa es la que se denomina como interpretación del afloramiento, y la palabra clave por tanto es evidencia. Pero que es realmente una evidencia y cómo se determina. La evidencia se construye a través de la suma de las siguientes etapas: (1) Observación, (2)

registro de información o datos, (3) procesado de datos y (4) interpretación de datos.

**1. Observación:** Se trata de las descripciones que hacemos de aquellas señales externas que nuestro cuerpo humano recibe y procesa. El hecho de que distintas personas no observemos igual las características de los objetos que hay en nuestra naturaleza puede ser explicado simplemente por los sistemas celulares que realizan la recepción y el procesado de estas señales externas en cada uno de nosotros (por ejemplo: la luz que es recibida por las células de nuestros ojos es transformada en un tipo de señal diferente que después es procesada por neuronas de nuestro cerebro). Probablemente la diferencia más común entre nosotros es en la definición y el rango de color de nuestra visión. Tan solo la variabilidad que hay en estas dos propiedades de nuestra visión tiene como potencial resultado observaciones diferentes de lo que nos rodea en la naturaleza por cada persona. Pero no hace falta compararse con otras personas. Durante todos los años que he trabajado como geólogo de campo he corregido mis propias observaciones muchísimas veces en muchos afloramientos, por ejemplo, cuando me he aproximado a una distancia menor a un afloramiento en concreto o cuando he cambiado mi ángulo de visión desde donde estaba observando tal afloramiento. La experiencia me ha hecho más y más cauteloso a la hora de tomar notas de las observaciones y pensar que son inmutables.

**2. Registro de datos:** discutir sobre como tomar nota de las observaciones en un afloramiento implica entrar directamente en el campo de la heurística. La heurística trata sobre las estrategias que seguimos para resolver un problema, las cuales derivan de experiencias previas cuando hemos tratado de resolver problemas similares. Estamos en frente de un afloramiento porque queremos entender mejor 'la naturaleza'; lo más probable es que se trate de algún aspecto de concreto de la naturaleza, por ejemplo, los procesos y las consecuencias del transporte de sedimento en un sistema fluvial. ¿Qué información vamos a registrar y cual vamos a descartar? Sí, descartar, porque realmente no podemos registrar toda la información que un afloramiento posee y porque también hemos sido enseñados por alguien más sobre qué información es la que debemos priorizar a la hora de ser registrada y cuál es irrelevante. También alguien nos ha enseñado cómo estructurar y organizar los datos que sacamos del campo. Algunos sedimentólogos deciden registrar los datos en una forma distinta a la que han sido enseñados o a partir de observaciones a las que otros no prestarían atención. ¿Cómo podemos estar seguros de que estamos registrando la información que es realmente relevante, y en la forma que es realmente apropiada, de

forma que vamos a conseguir avanzar en el conocimiento de cualquiera que sea el área de la ciencia en la que estemos trabajando? ¿Estás seguro de que lo haces adecuadamente? Yo no.

**3. Procesado de datos:** En este punto la heurística es de nuevo fundamental. el sedimentólogo podría usar herramientas o modelos estadísticos para ver si existe algún patrón en los datos que ha recogido. Esos patrones pueden ser radicalmente diferentes dependiendo del modelo o herramienta estadística usada. Proponer modelos predictivos es un objetivo soñado por la mayor parte de los sedimentólogos, y encontrar patrones es fundamental para definir reglas predictivas. De nuevo me he encontrado a mí mismo y a otros compañeros muchas veces hablando de ciclos o de una organización jerárquica cuando estábamos discutiendo sobre observaciones que realizábamos en el campo. Sin embargo, es extremadamente raro que alguien hable en estos casos de arbitrariedad o de una disposición aleatoria de las observaciones que uno realiza en un afloramiento. Cuando usamos la estadística estamos deseosos de encontrar patrones. Admitámoslo, nos encanta pensar que la naturaleza nos va a enseñar siempre o casi siempre un registro sedimentario organizado de alguna manera, mostrando algún tipo de ciclicidad.

**4. Interpretación de datos:** esta es la esta etapa final y probablemente aquella en la que un sedimentólogo será más susceptible a tener problemas con la heurística. Esto es porque todos nosotros sentimos la presión de llegar a una conclusión como científicos, es lo que nos enseñan. Y si esta conclusión es solo una e inequívoca, aún mucho mejor. Se han definido un gran número de diferentes tipos de sesgos cognitivos que resultan de la heurística que nosotros usamos como científicos, y estos sesgos nos llevan a cometer errores. La tabla 1 muestra algunos ejemplos de estos sesgos cognitivos relacionadas con la heurística y posibles situaciones en los que estos se dan cuando realizamos estudios de afloramientos.

La próxima vez que te acerques a un afloramiento no importa lo gran experto que pienses que eres, recuerda qué vas a caer en alguno de estos sesgos cognitivos.

**Referencias**

Baddeley, M.C., Curtis, A. and Wood, R., 2004. An introduction to prior information derived from probabilistic judgements: elicitation of knowledge, cognitive bias and herding. *Geological Society, London, Special Publications*, 239(1), pp.15-27.

Tipo de sesgo	Ejemplos (con un poco de ironía)
Anclaje y 'trending topic'	Has interpretado preliminarmente un afloramiento como una serie de depósitos formados por flujos supercríticos. ¡Sería genial publicar algo acerca de ese trending topic! Así que realizas más observaciones en el afloramiento y te das cuenta de que cuánto tú más piensas en ese artículo científico que vas a publicar más evidencias observas, ¡increíble!
Disponibilidad	Has visto esa estructura sedimentaria en tantas publicaciones científicas o cuando has observado otros afloramientos...que ahora que estás en frente de este afloramiento en concreto, ¡tiene que ser esa! Por supuesto tu mente no te puede estar engañando acerca de este análisis probabilístico que acabas de realizar según tu propia base de datos mental. ¡Tus estadísticas mentales son confiables al 100%!
Efecto vagón o imita a la mayoría	Todo el mundo que está observando este afloramiento interpreta exactamente lo mismo...¡ni te atrevas a pensar diferente!
Imita al exitoso o que tiene mayor rango	Elio el catedrático, investigador principal o tu jefe no pueden estar equivocados. Tú eres tan solo un empleado no experto un estudiante un postdoc o un investigador joven así que toma la mismo opinión que el experto de alto rango. Todo te irá bien.
Apoyo de la elección	Has ido al campo a un lugar en el que crees que vas a encontrar rellenos de canal. Es el tema de tu investigación. No te puedes ir del campo sin haber registrado la observación de al menos uno. Tiene que haber alguno con total seguridad...¡deja de ser un aguafiestas diciendo que a lo mejor no hay ninguno!
Ilusión de agrupamiento	(a) Gracias has visto esas capas en el afloramiento claramente adelgazándose en la secuencia hacia techo. FF no hay duda es un ciclo! (b) has usado el método de Montecarlo con los datos que has recogido de espesores de capas en tu afloramiento y ves un claro patrón que encaja perfectamente con la evolución eustática que tenías en mente. Es perfecto, las estadísticas no mienten nunca.
Confirmación y novedad	No has podido encontrar ni un solo foraminífero en tus muestras que prueben aquella hipótesis sobre un ambiente marino somero que tenías, pero hoy has encontrado muchos foraminíferos en una muestra de un afloramiento que muestreaste hace días. Este hallazgo es el bueno, ¡olvida del resto de muestras!
Conservación	Hoy encontraste una muestra con foraminíferos típicos de ambiente de aguas marinas profundas pero el resto de muestras que habías recogido hasta ahora han indicado hasta ahora un ambiente marino somero. Bueno, no le des más vueltas ... es tan solo una muestra, olvídate de ella y sigue con la hipótesis ambiente marino somero.
Negación	¿Sesgos cognitivos? ¿Qué es eso? Venga ya, yo siempre uso el método científico. Deja de molestarme.



**Ramón López Jiménez**

**Consultor, Instructor e Investigador independiente en Channels Geoconsultancy**

**Ramón López** 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.

[www.channelsgeo.com](http://www.channelsgeo.com)

[www.linkedin.com/in/ramon-lopez-jimenez](http://www.linkedin.com/in/ramon-lopez-jimenez)

[www.twitter.com/Montxolopez](http://www.twitter.com/Montxolopez)

[www.researchgate.net/profile/Ramon-Lopez-Jimenez](http://www.researchgate.net/profile/Ramon-Lopez-Jimenez)

## El Antropoceno:

### ¿Será la última época de la Historia Geológica de la Tierra?

#### La crisis ambiental: ¿Problemática geológica o humana?

Salvador Ortuño Arzate

“No! We’re no longer in the Holocene but in the Anthropocene!”

Paul J. Crutzen.

#### Crisis ambiental en la nueva época de la humanidad

Ya desde los pasados siglos, varios investigadores han señalado el impacto de la actividad humana sobre el planeta: v. gr. Buffon en 1780; el geólogo Antonio Stoppani en 1873 (que usó el término “era antropozoica” (*sic*), “el hombre es una nueva fuerza telúrica”); Vladimir Vernadsky en 1920 (creador de conceptos como “Biosfera” y Noosfera), entre otros; señalando la influencia humana sobre el clima, el suelo, y los equilibrios bio-geoquímicos.<sup>1</sup> Y estos impactos provocados por el ser humano sobre el ambiente parecen evidentes desde el Cuaternario y principalmente durante la fase final del Holoceno; término éste, propuesto por Charles Lyell en 1833.

El término Antropoceno fue propuesto originalmente por Eugene F. Stoermer; y posteriormente popularizado por el Premio Nobel de química en 1995, Paul J. Crutzen<sup>2</sup> (químico de la atmósfera, en la década de los años ochenta), para poner en evidencia las acciones del ser humano sobre el planeta y su ambiente total como Sistema Tierra.<sup>3</sup> Siendo que el Cuaternario comenzó hace 2.58 Ma y enseguida el Holoceno inicia hace 11,700 años, parecería lógico llamar Antropoceno a la época geológica actual dominada por las acciones humanas. Desde hace más de cien años, los estudiosos de los impactos ambientales han llamado “*psychozoic*” o noosfera a la edad de la, sin precedente, potente intervención de la humanidad sobre el planeta.<sup>4</sup> Aducen los proponentes del nuevo término Antropoceno, que la huella humana sobre al ambiente del planeta ha devenido tan vasta e intensa que rivaliza con los grandes acontecimientos geológicos naturales en términos de impacto sobre todo el Sistema Tierra. “El término Antropoceno es la reiteración de un concepto, para señalar el impacto de la actividad humana en los procesos biológicos, físicos y químicos en y alrededor del planeta.” (*cf.* Steffen *et al.*, 2011<sup>5</sup>). A este término se asimila el impacto que la humanidad ha impuesto sobre el clima, la biodiversidad y la acumulación acelerada de los gases de efecto invernadero, la acumulación de desechos contaminantes en los mares, océanos y en los continentes, así como los daños irreversibles ocasionados por la explotación irracional de los recursos naturales. Esta concepción del impacto de la actividad humana sobre el planeta se ubica como una evidente hipótesis que, de verificarse por estudios científicos precisos, representa una gama de implicaciones peligrosas para la sostenibilidad y pervivencia del planeta y de la humanidad entera.

Etimológicamente, el término Antropoceno se deriva del griego *antropos*, hombre; y *kainos*, reciente. Entonces, ἀνθρώπος, es el genitivo de ἀνὴρ hombre; y ἀνθρώπιμος α ον; es el adjetivo: humano, de hombres. Y de καινός ἢ ὄν, reciente, nuevo. Es decir, la “época reciente del ser humano”. La terminología de Antropoceno implica a las Ciencias de la Tierra en la nueva visión de Sistema Tierra como entidad fenomenológica integral, pero surge desde las ciencias de la Química

<sup>1</sup>Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P. & McNeill, J., 2011.- *The Anthropocene: conceptual and historical perspectives*. Philosophical Transactions of the Royal Society, A 369 (1938): 842-867.

<sup>2</sup>Crutzen P. J. and Stoermer, E. F., 2000.- *The Anthropocene*. Global Change. IGBP Newsletter, Stockholm, Royal Swedish Academy of Sciences, 41, p. 17-18.

<sup>3</sup>Crutzen, P. J., 2002.- *Geology of mankind*. Nature, v. 415 (3 janv. 2002).

<sup>4</sup>Zalasiewicz, J., Williams, M., Steffen, W., & Crutzen, P., 2010.- *The New World of the Anthropocene*. Environ. Sci. Technol, 44, 2228-2231.

<sup>5</sup>Steffen, W., *et al.*, 2011, *op. cit.*, in Bonneuil, Ch., *Penser l'Anthropocene: un enjeu interdisciplinaire*. Centre Koyré d'Histoire des Sciences et des Techniques (UMR CNRS-Ehess-MNHN).

ambiental. La instauración formal y científica en Geología de un nuevo concepto requiere varios años o décadas para su formalización. Ya que es necesario llevar a cabo una gran cantidad de investigaciones dirigidas a comprobar la existencia de causas, efectos de fenómenos medibles y susceptibles de seguimientos por las diferentes ciencias formales implicadas en las Ciencias de la Tierra, la ecología, las ciencias de la atmósfera, la climatología, paleoclimatología, estratigrafía, etcétera. Asimismo, el tema del Antropoceno implica situaciones sociales, económicas y políticas en el mundo actual y sus componentes sobre modelos alternativos de desarrollo y crecimiento global y económico. Además, también, el término Antropoceno se presenta como un fenómeno mediático en manos, y en pro, de los modelos desarrollistas neoliberales por el control del mundo y sus recursos; y por el impulso de “tomar el control sobre la máquina de la Tierra” y la imposición de controles tecnocientíficos sobre el planeta: malévolamente se ha expresado que “si la naturaleza es injusta, cambiémosla”, (*cf.* Steffen *et al.*, 2004, p. 9<sup>6</sup>; *in* Wallenhorst, *et al.*, 2019<sup>7</sup>). En resumen, en la perspectiva de los poderes de la globalización neoliberal, su actitud significará seguir tratando al Sistema Tierra como objeto, mas no como sujeto digno de respeto, cuidado, conservación y restauración. Ahora, ya aparecen las consecuencias desastrosas de este comportamiento equivocado como humanidad.

A la fecha, el tema del Antropoceno, aún no posee un estatus de hipótesis o teoría científica (o fenómeno natural verificable), ni caracterizado formalmente por los métodos convencionales que la ciencia establece, y la aceptación de la comunidad científica preconiza. El Antropoceno es aún un campo especulativo, de posible conocimiento organizado futuro, quizá, pero aun de carácter complejo, polisémico y paradójico. Al ser polisémico, el tema del Antropoceno implica, y necesita, la concurrencia de una gran variedad de disciplinas científicas (Geología, biología, ecología, las ciencias sociales, económicas, jurídicas y políticas, o la antropología), para esclarecer las esencias fenomenológicas y los impactos ambientales antropogénicos sobre el Sistema Tierra y sobre la humanidad, y la biosfera en su totalidad. Además, esta situación de crisis ambiental, por otra parte, como una aciaga realidad, requiere movilizaciones sociales y políticas y tomas de consciencia para revertir los impactos ambientales provocados, en el actual contexto complejo de pensamientos y acciones desarrollistas y de ingentes intereses financieros globales.

#### El Antropoceno y la Nomenclatura Estratigráfica del Tiempo Geológico

El análisis y estudio de estas circunstancias del desastre ecológico actual, como una época *sui generis*, se ha discutido en diferentes foros internacionales, así como la propuesta de identificar esta época con el término Antropoceno, e incluir el término en la nomenclatura cronoestratigráfica de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, como la sucesión cronológica del Holoceno; definiendo al Antropoceno como la época geológica del ser humano *versus* la historia geológica *sensu stricto*. Su posible inclusión en la Tabla Cronoestratigráfica se ha analizado y estudiado, durante la última década del siglo XXI, en las sesiones del Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno (AWG, *Anthropocene Working Group*), el cual depende de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario (SQS, *Sub-commission of Quaternary Stratigraphy*) y de la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS, *International Commission of Stratigraphy*) de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, *International Union of Geological Sciences*).

El Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno (AWG, por sus siglas en inglés) está encargado de definir la validez, el nivel jerárquico, la duración y el inicio de esta nueva época, “pretendidamente geológica”, a partir de las actividades humanas y su asignación en el registro geológico. Empero, algunos autores argumentan que el impacto ambiental no es significativo a la escala del tiempo de los acontecimientos geológicos del pasado. Dentro de la nomenclatura cronoestratigráfica de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, el Antropoceno correspondería a una *serie* en tanto unidad-roca, y como una *época* en calidad de unidad geocronológica; si finalmente fuere aceptada su inclusión formal por parte de la Comisión Internacional de Estratigrafía (*cf.* Figura 1).

<sup>6</sup>Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P., Moore III, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H. J., Turner II, B. L., Wasson, R. J., 2004.- *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*. The IGBP Book Series. New York: Springer.

<sup>7</sup>Wallenhorst, N., N., Robin, J.-Y. and Boutinet, J.-P., 2019.- *L'Émergence de l'Anthropocène, une Révélation Étonnante de la Condition Humaine? Répenser une Anthropologie Éducative en Anthropocène*. Asimismo: Wallenhorst, N., 2019.- *L'Anthropocène décodé pour les humains*. Paris: Le Pommier.

La Comisión Internacional de Estratigrafía es el subcomité científico de la IUGS, que se ocupa de la investigación estratigráfica, geológica y geocronológica a escala mundial, para el establecimiento de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional. Su principal objetivo, desde 1974, es establecer la escala temporal estratigráfica estándar de carácter global (identificada y materializada por eonotemas, eratemas, sistemas, series, pisos y chronozonas) que sirvan de base para la conformación de la escala del tiempo geológico (definida por eones, eras, periodos, épocas, edades y chrones), para llevar a cabo las asignaciones de tiempo geológico y facilitar las correlaciones estratigráficas, así como las comparaciones litoestratigráficas, cronoestratigráficas, bioestratigráficas (paleontológicas) y geobiológicas entre distintas regiones del planeta. Para lograr este objetivo, se establecen patrones obtenidos con criterios estratigráficos rigurosos en las rocas (series sedimentarias, ígneas y metamórficas), y con la ayuda del registro fósil u otros métodos de datación, los cuales se denominan secciones y puntos de estrato-tipos de límite globales.

Eonotema / Eón		Eratema / Era		Sistema / Período		Serie / Época	Piso / Edad	GSSP	Edad (Ma)
Cenozoico	Neógeno	Cuaternario	Holoceno	S	Megalayano	actualidad	0.0042	▲	
				M	Norgrigiano	0.0082	▲		
				I	Greenlandiano	0.0117	▲		
			Pleistoceno	S	Superior	0.129	▲		
				M	Chibaniano	0.774	▲		
				I	Calabriano	1.80	▲		
					Gelasiano	2.58	▲		
					Plioceno	Piacenziano	3.600	▲	
			Mioceno	Zancliano	5.333	▲			
				Mesiniano	7.246	▲			
				Tortoniano	11.63	▲			
				Serravaliano	13.82	▲			
				Langhiano	15.97	▲			
				Burdigaliano	20.44	▲			
				Aquitano	23.03	▲			
Oligoceno	Chatiano	27.82		▲					
Rupeliano	33.9	▲							

Figura 1.- Fragmento de la Tabla Cronoestratigráfica del Tiempo, visualizando los periodos Neógeno y Cuaternario, así como la posición del Holoceno. El término Antropoceno se ubicaría a continuación del Holoceno. Fuente: Comisión Internacional de Estratigrafía, versión 2021.

Actualmente, el Antropoceno no posee una asignación en la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, al cuidado y edición de la Comisión Internacional de Estratigrafía. Por tanto, para adquirir una posición como Serie/Época en la Tabla Cronoestratigráfica se requiere la selección y ubicación de una sección cronoestratigráfica, o estrato-tipo, indicando, con precisión, su edad de inicio (*Global Boundary Stratotype Section and Points*), sobre la cima de la época del Holoceno; sitio de inicio cronológico con edad o fecha precisa de inicio, el cual sería designado por un "Clavo dorado" (*Golden Spike*), o GSSP (*Global Standard Stratigraphic Point*), respaldado por la asignación de la Comisión Internacional de Estratigrafía, (cf. Figura 1). Este GSSP debe ser posicionado en un lugar del planeta, teniendo una correlación demostrada en un nuevo contexto global. Después de ser ubicado físicamente el GSSP, se asigna el GSSA (*Global Standard Stratigraphic Age*), es decir, la asignación de la edad, o geocronología.

Este sitio debe ser un lugar de sedimentación clara y perceptible.<sup>8</sup> En tal caso, la pregunta sería: ¿los seres humanos han marcado una influencia evidente y concreta a tal punto que la sedimentación geológica actual, en formación, contenga trazas distintivas humanas diferentes de los registros geológicos del Holoceno? Igualmente, ¿será susceptible de correlacionarse a nivel global?<sup>9</sup>

De acuerdo a lo estipulado anteriormente, varios de los requisitos de la Comisión Internacional de Estratigrafía para admitir el término Antropoceno no son aún cumplidos: *v. gr.*, determinar nivel jerárquico; definir el límite inferior con el Punto ("Clavo dorado") y Sección Estrato-tipo Global (GSSP), y el GSSA (*Global Standard Stratigraphic Age*, o escala geocronológica); tener un marcador principal y otros secundarios; debe poseer una correlación regional global; además, ser objeto de un proceso de sedimentación continua y un espesor adecuado, tanto en la parte superior, como por debajo para poder demostrar la transición; debe ser identificado como un punto de ubicación geográfica con latitud, longitud y altitud; y definir cuál es el acontecimiento humano que será el inicio del Antropoceno.

Se han analizado varios acontecimientos y sus posibles fechas de datación para marcar el inicio supuesto del Antropoceno. Entre estos acontecimientos, es posible mencionar los siguientes: la edad de la piedra (*ca.* 2.5 Ma 11,800 años), el mesolítico (*ca.* 11,800 a 5,000 años) y el neolítico; la depredación inicial de la megafauna del Cuaternario por el ser humano (*ca.* 50,000 a 12,000 años)<sup>10</sup>; y además las extinciones de la megafauna en Australia (marsupiales y aves) al final del Holoceno como el tigre dientes de sable de América o los mamuts lanudos de Siberia<sup>11</sup>; el inicio de la agricultura, en el Neolítico, y su influencia sobre el clima y la producción de CO<sub>2</sub> (hace 11,000 a 5,000 años aproximadamente) en el Creciente Fértil de Medio Oriente a Europa al inicio del Holoceno; el comienzo de la revolución industrial (durante el siglo XVIII, según Steffen *et al.*, 2011<sup>12</sup>, entre otros); el desarrollo de los modelos capitalistas y neoliberales basados en la depredación y la explotación de los recursos del planeta a partir de las estructuras colonialistas e imperiales de explotación y maximización de ganancias mercantiles, llevadas a cabo en los cinco continentes (en su apogeo desde el siglo XV hasta la actualidad); la "Gran Aceleración" (1945-2022) identificada como la sobrepoblación del planeta con más de 7 mil millones de personas y su consecuente depredación sobre el ambiente (siglo XX); las explosiones de las bombas nucleares y termo-nucleares y el despliegue del poder tecnocientífico de destrucción hacia la multiplicación de los escenarios de guerra por todo el mundo durante el siglo XX, y hasta la actualidad.

Todos estos hechos históricos humanos, seguramente han marcado la sedimentación y el registro geológico, a pesar de la falta de análisis y estudios integrales que permitan conocer el balance fatal y real, y la confirmación de la presencia humana sobre el planeta. Entre estos acontecimientos de la historia humana, probablemente el más significativo, para ubicar el inicio del Antropoceno, sea el siglo XX (tiempo de la "Gran Aceleración"), ya que las guerras, la contaminación radiactiva y química alcanzó una inusitada magnitud y gran extensión a la escala de todo el planeta. Así, la existencia de marcadores en los sedimentos podrían ser las sustancias químicas nuevas de origen industrial, radioactividad, trazas de oligoelementos radiactivos, basura industrial, desechos industriales, desechos de guerras de armas convencionales y no convencionales, etcétera. Los ciclos biogeoquímicos naturales (del carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo, azufre...) están siendo fuertemente perturbados; su daño está ya produciendo cambios irreversibles en la biosfera, principalmente.<sup>13</sup>

Sin embargo, al no cumplir aún con los requerimientos previstos, y por las evidencias del Antropoceno, siendo una entidad de carácter histórico humano, se considera que el Antropoceno debería ser establecido sólo como una etapa de la historia humana, mas no de la historia geológica. Sería una etapa más como, por ejemplo, el paleolítico, neolítico, renacimiento, etc. La historia humana se caracteriza y es medible en años, fechas, etapas históricas, culturales; y sus objetos de estudio son los objetos arqueológicos, las diversas paleografías y los vestigios culturales. Por el contrario, la historia geológica se mide en miles o millones de años de edades absolutas y relativas de los acontecimientos geológicos, estudiados en las rocas, que han conformado el origen, la evolución, la composición y la conformación del planeta, así como la historia de la vida durante, y sincrónicamente, a tales acontecimientos.

<sup>8</sup>Wallenhorst, N., *et al.*, *op.cit.* 2019.

<sup>9</sup>Wallenhorst, N., 2019.- *L'Anthropocène décodé pour les humains*. Paris: Le Pommier.

Harari, Y. N., 2018.-, *De animales a dioses; Breve historia de la humanidad*. Ed. Penguin Random House Grupo Editorial., pp 80-91; 95-116.

<sup>10</sup>Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., and Ellis, M., 2011.- *The Anthropocene: a new epoch of geological time?*

<sup>11</sup>Phil. Trans. R. Soc. A, 369, 835-841. doi: 10.1098/rsta.2010.0339.

<sup>12</sup>Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., McNeill, J. -2011. *The Anthropocene: conceptual and historical perspectives*. Philosophical Transactions of the Royal Society, 369, 842-867, in Wallenhorst *et al.*, 2019.

<sup>13</sup>Manahan, S., E., 2007.- *Introducción a la Química Ambiental*. Ed. Reverté-UNAM. Pp.1-29.

Las ciencias geológicas son esencialmente ciencias geohistóricas, en las cuales el método científico es retrodictivo (el estudio efecto-origen de los fenómenos en el tiempo pasado), basado en la retrodicción inductiva y el principio de la uniformidad de los procesos y las leyes naturales. Y, por otra parte, en el estudio y análisis desde el presente geológico hacia el acontecer del Antropoceno futuro, la Geología se encontraría en posición de hacer predicción “o de predecir”, ahora, hacia el devenir de la historia del planeta (un procedimiento epistemológico “invertido”, respecto al estudio geológico efecto-origen, basado, igualmente, en el principio de la “uniformidad de leyes naturales”). En esta situación, en la Geología, respecto al estudio del Antropoceno, se tendría que adoptar un enfoque epistemológico diferente para esta época de la historia humana, mas no el mismo principio de la teoría del conocimiento geológico, que tradicionalmente se ha aplicado, para el análisis de los acontecimientos ocurridos durante las etapas del tiempo geológico en el pasado.

A la fecha, aún no se ha dado una resolución o pronunciamiento sobre la posible inclusión del término Antropoceno, en cuanto a sitio y sección física (GSSP), y menos aún en cuanto a su edad geológica (GSSA), por parte de la Comisión Internacional de Estratigrafía. Por otro lado, el Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno (AWG, por sus siglas en inglés), y el *Haus der Kulturen der Welt*, HKW, (Casa de las Culturas del Mundo), informan que se están llevando a cabo trabajos e investigaciones en el programa GSSP, los cuales serán dados a conocer durante el verano del año 2022.

Con acuerdo a lo precedentemente mencionado, los geólogos no deben precipitarse a introducir el término Antropoceno, cuando toda la Tabla Cronoestratigráfica, de 4,600 Ma<sup>14</sup> de historia geológica, ha sido compuesta y fundamentada por una gran cantidad de investigación y trabajo desde hace siglos; y no por una aparente evidencia en estas épocas históricas de la humanidad. Además, frente a la historia geológica del planeta de 4,600 Ma, la presencia humana no va más allá de “1 minuto” si se compara esa historia de la Tierra a un día de 24 horas. Por tanto, la duración de la permanencia del ser humano y su impacto ambiental durante algunos siglos de su historia, no significa prácticamente nada en una secuencia sedimentaria que “registre” la presencia humana en la sedimentación. ¡El Holoceno se sitúa, en esta comparación, en el último cuarto de segundo y la revolución industrial en las dos últimas milésimas de segundo! Por lo tanto, el Antropoceno tendría que estudiarse profundamente como una etapa de la historia humana, en esta postmodernidad, mas no como una serie/época del registro geológico del tiempo.

**La catástrofe ecológica actual y los vectores del no – retorno; La urgente prioridad**

Amén de las consideraciones geológicas y científicas que ha suscitado el Antropoceno, el hecho esencial es la realidad del desastroso impacto ambiental que la actividad humana ha producido sobre el planeta, así como el riesgo que representan los vectores de no-retorno, los cuales anuncian, ya, una próxima catástrofe planetaria. Esta situación ambiental compleja en cuanto a su análisis y a las vías de solución, representa un desafío multifactorial y polisémico para la ciencia, la tecnología, el humanismo, la cultura y para la conciencia humana en su sentido más profundo. Lo cual implica, incluso, poner en riesgo la continuidad de la vida humana sobre el planeta.

Las formaciones socioeconómicas durante las diferentes etapas de la historia humana son responsables de la depredación; por ello son cuestionables los modos de producción, implementados a lo largo de la historia humana, particularmente a partir de la era industrial y del desarrollo científico y tecnológico. El paradigma científico – tecnológico incide, paradójicamente, en una crisis ambiental de magnitud colosal. La etapa de estabilidad geológica-climática del Holoceno se ha interrumpido por la presencia humana, principalmente a partir de la revolución industrial. Y en cuanto a la seguridad de la humanidad en el planeta, ésta se precipita hacia un escenario de inestabilidad desconocida, en un Sistema Tierra que, desde hace millones de años, era estable y geológicamente natural. En un escenario mediano, por ejemplo, la temperatura media del planeta sería, según los pronósticos, de +4°C hacia el año 2100. Además, la pérdida de la biodiversidad ocurre actualmente a una velocidad sin precedente, mil veces más elevada que la media geológica-paleontológica observada en el registro fósil. A este ritmo, la humanidad podría protagonizar la sexta extinción masiva de la historia geológica, desde la aparición de la vida. Estos impactos ambientales sobrepasan la posibilidad de la adquisición de una experiencia, o de la conformación de una consciencia en la cultura humana. Aun conceptualizando sabiamente el ambiente natural, la ecología, la economía ecológica, por una parte, y el impacto y depredación ambiental como externalidades, por otra parte, es urgente fundamentarse sobre las variables económicas y sociales *vis-à-vis* del Sistema

Tierra en su totalidad, para así, proceder a la conformación de un desarrollo sustentable en el futuro: y, aun así, la problemática ambiental parece no tener soluciones precisas e inmediatas actualmente.

Además, desde el punto de vista de la teoría sistémica, la concepción del Sistema Tierra tiene por objeto el estudio de las interacciones de los diferentes componentes del planeta, es decir, la geosfera, hidrosfera, atmósfera y la biosfera, (Figura 2). El objetivo fundamental, amén de la aprehensión del ente geológico *per se*, es la definición y conocimiento de las condiciones necesarias para el mantenimiento de los estados de equilibrio dinámico del Sistema Tierra, desde los inicios del Holoceno, por ser ésta la época de la presencia humana, y a partir de una perspectiva humanística, altruista e integral. En todo el Universo, sólo existe un lugar donde la vida puede sustentarse, un pequeño planeta que orbita alrededor de una estrella llamada Sol, que le proporciona el calor y la dinámica para proveer las condiciones para la vida. ¿Cuáles fueron esos fortuitos acontecimientos en el Universo, que crearon un maravilloso planeta apto para alojar la vida en su seno? Una cadena fortuita y probabilística jamás hubiese creado tanta perfección y belleza. En esta manifestación de sentido ético y estético, la humanidad no debe, y no puede, ser inconsciente verdugo.

Ya desde la antigüedad los filósofos griegos aprehendieron la intuición que la composición del mundo-cosmos poseía cuatro elementos: la tierra, el agua, el aire y el fuego. Cada uno ha sido abordado por las ciencias modernas: la tierra en su composición por la física, la química, la mineralogía y la petrología; y en su dilucidación estructural y cinemática, por la estratigrafía, la geología estructural y la geotectónica. La teoría del conocimiento de los elementos agua y aire, se vislumbra maravillosamente por la física, la química, la hidrología, la meteorología, la climatología, la mecánica de fluidos... Finalmente, el fuego, que se traduce en la energía, es el objeto del conocimiento de varias disciplinas científicas como la física teórica, mecánica cuántica; y de manera prodigiosa por la ecuación relativista general, profunda y elegante de Einstein, donde la materia y la energía interactúan en el espacio-tiempo, constituyendo una sola e impresionante unidad en la evolución de todo el Universo.

Por otra parte, la distribución dinámica de los contaminantes físicos, químicos y radiactivos se lleva a cabo a través del agua, el aire y el suelo. En su transporte son determinantes los fenómenos de la geodinámica externa del planeta, ya que los procesos sedimentarios como la erosión, el transporte y el depósito de los sedimentos constituyen, asimismo, los vectores de transporte de los productos contaminantes generados por la actividad humana en todos los contextos de la

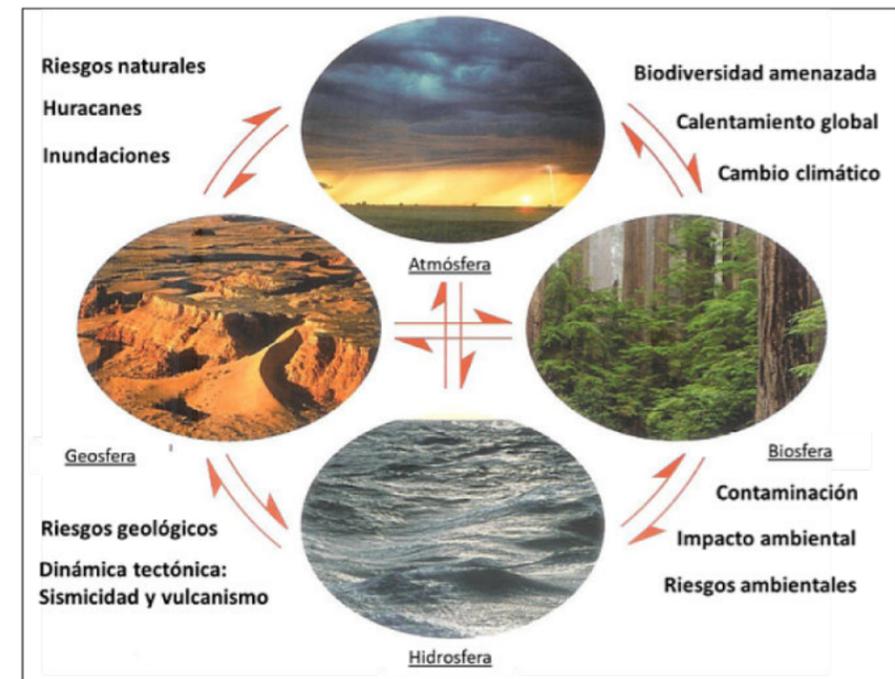


Figura 2.- El Sistema Tierra y sus esferas envolventes y cuyas relaciones complejas, definen el funcionamiento de todo el sistema que mantiene un asombroso equilibrio dinámico. Sobre este sistema tienen lugar los fenómenos geológicos, meteorológicos y los riesgos geológicos, así como los riesgos e impactos ambientales antropogénicos. Imagen según Tarbuck y Lutgens, 2013, Ciencias de la Tierra; modificada.

<sup>14</sup>Comisión Internacional de Estratigrafía, 2021.- *Tabla Cronoestratigráfica Internacional*.

actividad económica, industrial, de consumo, y hasta de actividades bélicas, etcétera. Por tal razón, los diferentes productos residuales contaminantes se encuentran en los suelos transportados y residuales, así como en la mayoría de los cuerpos de agua, superficiales de escorrentía, subterráneos, acuíferos, lagunas, mares y océanos. De esta manera, los contaminantes son depositados con los sedimentos, alterando los ecosistemas y los ciclos biogeoquímicos naturales del planeta. A partir de tales conocimientos, sobre la dinámica geo-ecológica, ha nacido la Geología ambiental hace ya varias décadas, con el objetivo de aprehender la dinámica e interacción de las esferas envolventes del Sistema Tierra como una sola entidad, (Figura 2). El estudio de la geodinámica externa de la superficie del planeta permite identificar, caracterizar, cuantificar y evaluar los componentes contaminantes y conocer su dinámica de distribución en los ecosistemas.

Según Steffen *et al.*, 2011 y 2015, todos los incrementos en las variables del impacto ambiental, durante el siglo XX, principalmente a partir de 1945, conforman lo que se ha denominado la “Gran Aceleración”<sup>15</sup>. Algunas variables son: el incremento del bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, de los óxidos nitrosos, del metano, de la temperatura media de la Tierra, de la acidificación de los océanos, así como la afectación de la capa de ozono estratosférico y las fuertes disminuciones de las especies animales y vegetales en la biosfera, que conlleva la pérdida grave de la biodiversidad (cf. Figura 3). Según las investigaciones en diversas disciplinas científicas, el incremento desmesurado de estos factores son la causa del calentamiento global, del acelerado deshielo en las regiones polares y en áreas de montaña en altitud, de la desertificación de extensas regiones continentales, de las modificaciones y alteraciones climáticas (sequías e inundaciones) y de la inminencia presente y futura de la elevación del nivel medio de mares y océanos a escala global.<sup>16</sup>

Por otra parte, en el contexto de la historia humana destacan varios acontecimientos de carácter social, económico, político y cultural que han incidido e impactado el ambiente natural. Así, destacan, desde los albores de la humanidad, la emergencia del ser humano, como ente pensante y con enorme capacidad de acción sobre el entorno natural, el uso del fuego, las extensas migraciones humanas la conquista de todo el planeta, la extinción de la megafauna durante el

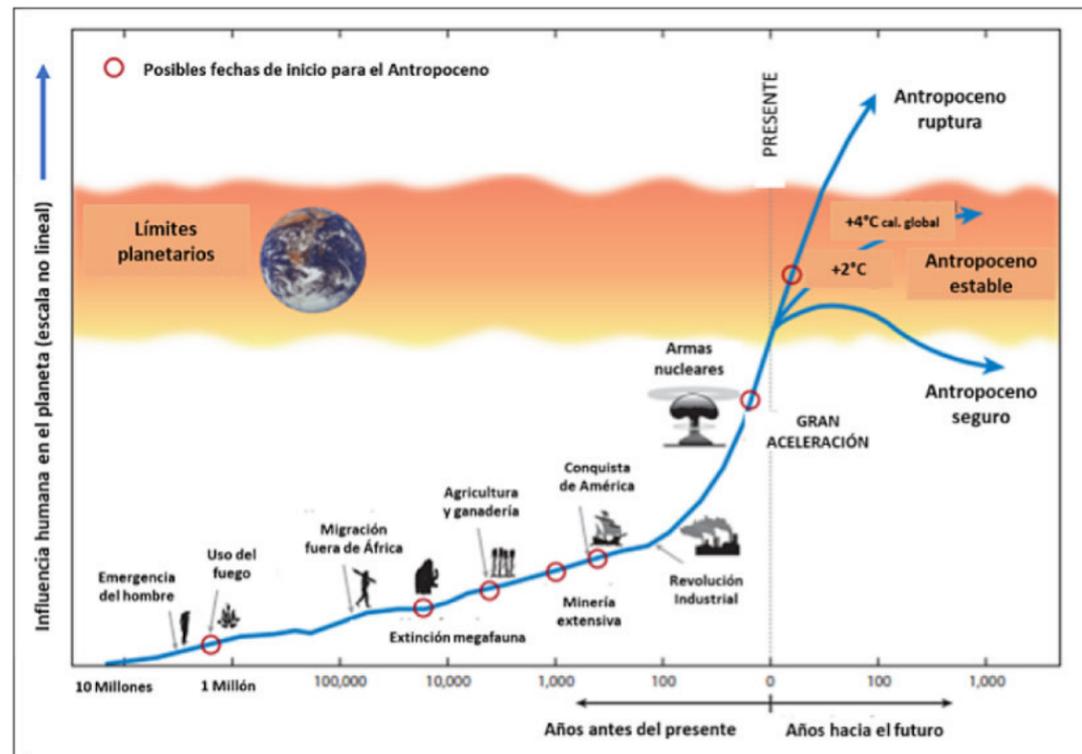


Figura 3.- Cronología de la influencia humana en el medio ambiente, hasta la Gran Aceleración contemporánea; según: Malhi, Y., 2017.- *The Concept of the Anthropocene*. Annual Review of Environment and Resources. 42. pp.77-104.

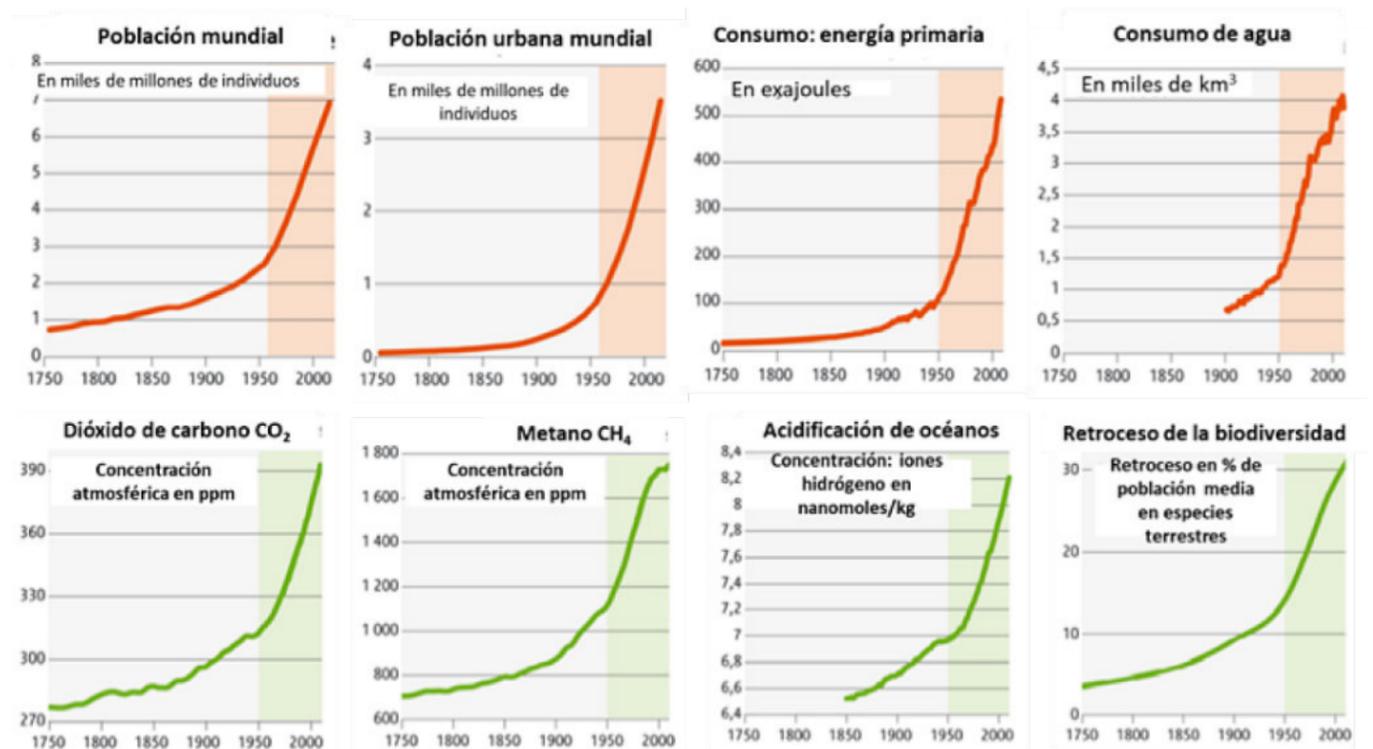
<sup>15</sup>Steffen, W. *et al.*, 2011.- *The Anthropocene: conceptual and historical perspectives*. Philosophical Transactions of The Royal Society A., 369, 842-867, doi: 10.1098/rsta. 2010.0327. Steffen, W., *et al.*, 2015.- *The trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration*. The Anthropocene Review. (Données: International Geosphere-Biosphere Programme et Stockholm Resilience Centre), in Quenault, Béatrice, 2015.- *Changement climatique à l'ère de l'Anthropocène*. MCF en économie, ESO, Rennes (UMR CNRS, 6590) Université Rennes 2, France.

<sup>16</sup>Hansen, J. *et al.*, 2015.- *Ice melt, sea level rise and superstorms*. Atmospheric Chemistry and Physics.

Cuaternario, la revolución agrícola acompañada con el pastoreo y la crianza de animales, la explotación de recursos como los metales y la minería, la revolución industrial (y el inicio del uso intensivo de los combustibles fósiles), el desarrollo de armamento, la expansión del colonialismo y la acelerada explotación de recursos naturales, el desarrollo de la geopolítica armamentista, la tecnología nuclear bélica... Y así, hasta llegar a “La Gran Aceleración” que comenzó entre los siglos XIX y XX y se mantiene peligrosamente presente en este convulsionado siglo XXI, (Figura 3).

De estas variables, o vectores cruciales, varios se encuentran en etapa crítica y de “no retorno” (cf. la Figura 4 y la Tabla 1, siguientes). Entre los parámetros de desarrollo económico general destacan, a partir de la mitad del siglo XX, el incremento desmesurado de la población mundial, de la urbanización de la población mundial, del consumo de energía primaria y del desmesurado consumo de agua continental, entre otros factores críticos. Y entre los parámetros que inciden en la dinámica del Sistema Tierra, el incremento del CO<sub>2</sub>, del metano, la acidificación de los océanos y el aniquilamiento de la biodiversidad. Un vector o indicador crítico de esta etapa es el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera que, desde 1950 ha alcanzado un valor de 380 ppm en 2007<sup>17</sup>; y que en 2021 fue del orden de 414.7 ppm.

Asimismo, el calentamiento global, la pérdida de la biodiversidad, el cambio climático, el desmesurado consumo de los recursos del planeta y los desechos generados por sus procesos de extracción (caso de la minería en general y la explotación petrolera), han dado como resultado la actual y aciaga crisis ambiental. Es importante mencionar, además, que los recursos no renovables como los hidrocarburos, dada su sobrexplotación, se encuentran en etapa de fuerte



Fuentes: Steffen, W. *et al.*, 2011.- *The Anthropocene: conceptual and historical perspectives*. Philosophical Transactions of The Royal Society A., 369, 842-867, doi: 10.1098/rsta. 2010.0327.

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C., 2015.- *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*. The Anthropocene Review. (Données: International Geosphere-Biosphere Programme et Stockholm Resilience Centre), in Quenault, Béatrice, 2015.- *Changement climatique à l'ère de l'Anthropocène*. MCF en économie, ESO, Rennes (UMR CNRS, 6590) Université Rennes 2, France.

Figura 4.- Parámetros de desarrollo económico general; población y consumos de energía primaria y agua dulce (gráficas superiores); y parámetros ambientales del sistema Tierra (gráficas inferiores).

<sup>17</sup>Steffen, W., Crutzen, P. J., McNeill, J. R., 2007.- *The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature?* Ambio, vol. 36, no. 8, Stockholm.

declinación; con la consecuente agravación de las situaciones geopolíticas, conflictos bélicos e ingentes impactos ambientales, en suelos, agua y aire. Incluso, las llamadas energías limpias han generado inconvenientes en sus procedimientos tecnológicos, impactando también el ambiente; como el caso del uso de biocombustibles, o la afectación del paisaje por los sistemas eólicos de generación eléctrica.

Se han identificado nueve vectores o determinantes biofísicos, los cuales son considerados críticos y esenciales para el mantenimiento de los equilibrios ecológicos del planeta. Entre éstos, tres son susceptibles de presentar riesgos de ruptura o de disfuncionalidad a escala mundial, como: el cambio climático, acidificación de los océanos y adelgazamiento o vulnerabilidad de la capa de ozono estratosférica. Los restantes seis vectores parecen tener, por ahora, solo impactos locales o regionales; pero si interactúan o se adicionan pueden magnificarse y provocar impactos a la escala mundial. Para cada uno de los vectores, se han determinado límites críticos, que una vez sobrepasados representan riesgos y desequilibrios que amenazan la supervivencia humana de manera dramáticamente catastrófica<sup>18</sup>. Estos vectores y sus límites críticos son mencionados en la Tabla 1 y en la Figura 5.

De estos vectores críticos ambientales, actualmente son tres los que han sobrepasado el umbral de riesgo que pueden provocar desequilibrios potencialmente irreversibles. Estos tres vectores de riesgo son el cambio climático, la pérdida progresiva de la biodiversidad y la presencia de óxidos nitrosos en el aire<sup>19</sup>. En cuanto al cambio climático y los riesgos de calentamiento global, un factor de riesgo, por la inminencia de catástrofe climática, es la cantidad peligrosa de contenido

Procesos: Sistema Tierra	Indicadores	Límites propuestos	Valor actual (2015)
Pérdida de la biodiversidad	Ritmo de extinción de especies (número de especies desaparecidas por millón de especies y por año)	10	>100
Cambio climático	Concentración atmosférica de CO <sub>2</sub> en ppm por volumen	350	387
	Forzamiento radiactivo en W/m <sup>2</sup>	1	1.5
Ciclos biogeoquímicos: Nitrógeno	Cantidades de N <sub>2</sub> removido de la atmósfera para actividades humanas (millones de toneladas/año)	35	121
Ciclos biogeoquímicos: Fósforo	Cantidades de P, vertidas al océano (millones de toneladas/año)	11	8.5 - 9.5
Acidificación de los océanos	Saturación media global de aragonita (CaCO <sub>3</sub> ), en los océanos; adimensional	2.75	2.90
Agujero en la capa de ozono	Concentración de ozono estratosférico (unidades Dobson)	276	283
Consumo de agua dulce	Consumo de agua dulce en km <sup>3</sup> /año	4,000	2,600
Cambio de uso de suelos	Porcentaje de tierras naturales transformadas en tierras agrícolas	15	11.7
Presencia de aerosoles atmosféricos	Concentración global de partículas	Indeterminada	
Contaminación química	Cantidades vertidas (concentración en el ambiente) de:	Indeterminadas	
	*Contaminantes orgánicos		
	*Materiales plásticos		
	*Perturbadores endocríneos		
	*Metales pesados		
	*Desechos radiactivos; etcétera.		

Fuente: Steffen, W. et al., 2011.- The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. Philosophical Transactions of The Royal Society A., 369, 842-867, doi: 10.1098/rsta. 2010.0327.

Tabla 1.- Los vectores o procesos determinantes biofísicos y químicos ambientales en el ámbito global. Tales procesos definen indicadores medibles que se encuentran en situación de riesgo.

<sup>18</sup>Steffen, W., et al., 2015.- *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*. Science, pp. 1259855. In Quenault, Béatrice, 2015.- *Changement climatique à l'ère de l'Anthropocène*. MCF en économie, ESO, Rennes (UMR CNRS, 6590) Université Rennes 2, France.

de bióxido de carbono, y otros gases de efecto invernadero, en la atmósfera. De acuerdo a los estudios de Steffen et al., 2015, el umbral de 350 ppm de CO<sub>2</sub> ya representa el valor límite inferior de un intervalo peligroso que se temía llegará a ser entre 350 y 550 ppm; con lo cual ya existe un grave peligro para el equilibrio dinámico planetario. Desafortunadamente, durante el año 2021 se alcanzó la cifra de 414 ppm de CO<sub>2</sub>. Aunado a lo anterior, el efecto invernadero provocado por estos gases, es incrementado por la radiación solar la cual contribuye al calentamiento del suelo y de la atmósfera, incrementando la temperatura a niveles que alteran el equilibrio térmico del planeta. Desafortunadamente, no parece existir un consenso mundial para llevar a cabo estrategias concretas con el objeto de revertir este factor que, hasta ahora, parece irreversible. La Tierra, de manera natural, sin el ser humano a cuestas, tardaría varias decenas de miles de años para restaurar sus condiciones bio-geoclimáticas iniciales del Holoceno. Empero, la huella humana dañina permanecerá varios cientos de miles de años, o quizá, aun, varios millones de años en los registros estratigráficos de la Tierra.

Debido a estos problemas ambientales, se han generado otras plagas y catástrofes humanas como las reiteradas epidemias y pandemias (v. gr. peste bubónica, gripe española, amarilla, influenza humana y aviar, ébola, covid 19, etcétera)<sup>21</sup>, la inmigración acelerada<sup>22</sup>, las guerras internacionales, las crisis humanitarias, guerras civiles, ingobernabilidad y los desórdenes sociales, crisis económicas, crisis políticas, emergencia de poderes militares y absolutistas, agresiones

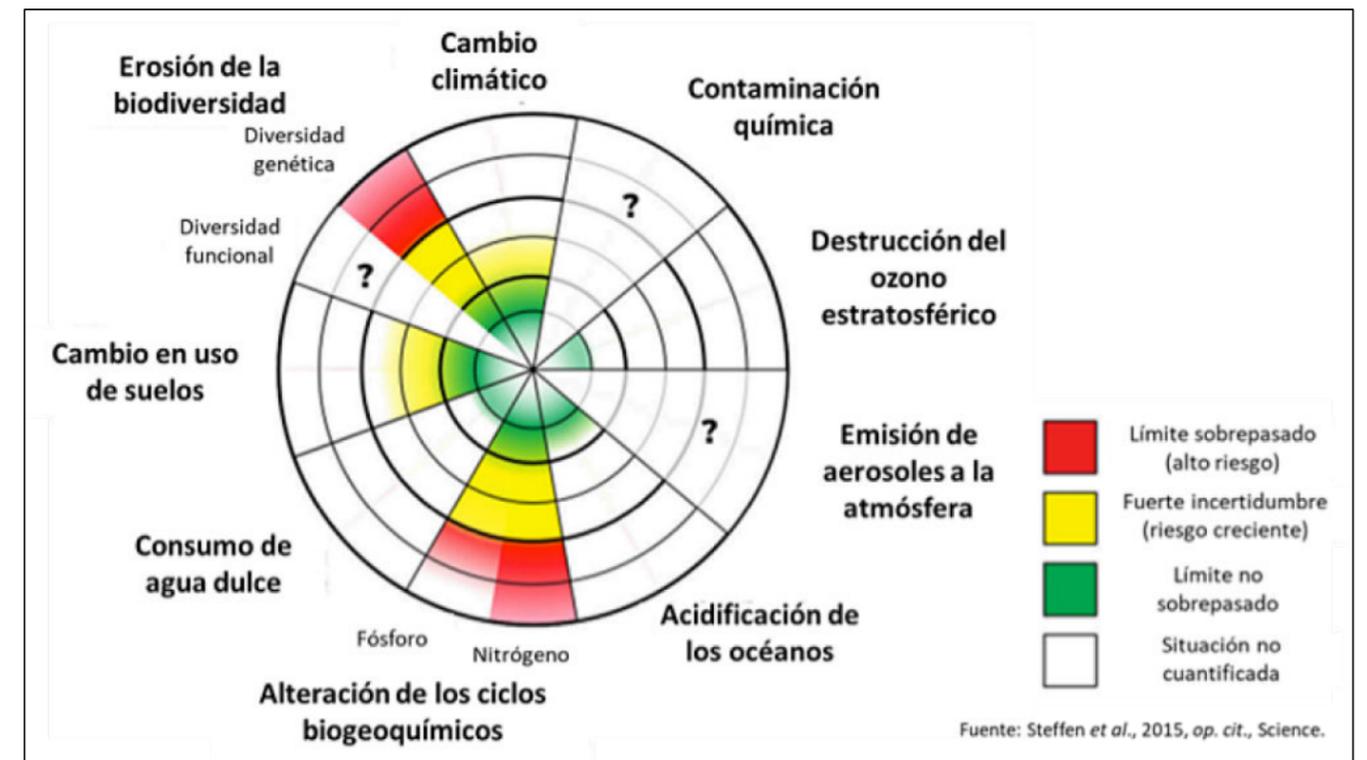


Figura 5.- Variables del riesgo planetario actual. Tres variables han sobrepasado los límites de riesgo, de estado irreversible o no retorno: Cambio climático, pérdida progresiva de la biodiversidad y tasa de nitrógeno. Fuente: Rockström et al., 2009<sup>20</sup>; y Steffen et al., 2015; in Quenault, B., op. cit., 2015.

geopolíticas depredadoras hacia las naciones más vulnerables, las hambrunas mundiales (conllevando enfermedades endémicas y epidemias en zonas y países marginados), crisis individuales de consciencia y de pensamiento en las personas, la mundialización de las problemáticas sociales y de poder, excesos de depredación y de poder sobre lo otro y los otros (xenofobia y racismo a ultranza), etcétera. En tal contexto, las crisis sanitarias de los últimos dos siglos, tanto humanas como en los animales, parecen ser el resultado de varias causas, como son el medio ambiente contaminado, los sistemas económico-sociales y políticos en estado de crisis (naciones y zonas de influencia geopolítica de cualquier tinte ideológico), la dinámica de los agentes patógenos, las interacciones entre humanos y animales, y sus posibles enfermedades

<sup>19</sup>Steffen, W., et al., 2015.-op.cit.

<sup>20</sup>Rockström, J., et al., 2009.- *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society, vol. 14, no.2, 32 Stockholm Resilience Alliance.

<sup>21</sup>Galeana, P., 2020.- *Las epidemias a lo largo de la historia*. Antropología Americana, vol. 5, núm. 10, pp. 13-45.

<sup>22</sup>Gemenne, F., 2020.- *Les réfugiés de l'Anthropocène. La question du territoire à l'heure du changement climatique*. Geo-Eco-Trop., 44, 4: 623-629.

zoonóticas, originando, incluso, nuevas enfermedades emergentes. Las pandemias y epidemias han sido casi siempre desencadenadas por los cambios en el ambiente provocados por las actividades humanas. Particularmente, las enfermedades infecciosas suelen ser el resultado de la interacción ecológica entre los seres humanos y diferentes especies de organismos y/o microorganismos (zoonosis). Desgraciadamente, el medio ambiente, ahora, ha llegado a ser el esclavo de la humanidad, fuertemente contaminado y saqueado en sus recursos. En realidad, la huella ecológica más agresiva está conformada y dirigida por la élite oligárquica financiera y política del planeta, la cual representa menos del 10% de la población mundial, a través de sus mecanismos multinacionales y de explotación neoliberal, tanto de los recursos naturales como de los seres humanos (“*Homo hominī lupus*”; “*El hombre, lobo del hombre*”). Estas son las exigencias, a resolver, más urgentes que pesan sobre la consciencia ética de la población mundial.

### Breve Epílogo

Surge, de este breve ensayo, un definitivo corolario: la aciaga y preocupante crisis ambiental que sufre la humanidad es, y debe ser, la tarea más urgente, y prioritaria, por afrontar y resolver; o al menos paliar de manera inmediata. Los poderes financieros y políticos mundiales *de facto*, enfrentan un reto de elección por la vida o por el suicidio colectivo, que pesa sobre su afán desmedido de enriquecimiento. Y a la población mundial corresponde la toma y engrandecimiento de una consciencia cosmo-ética y de activismo y lucha política contra la explotación de la naturaleza y su propia emancipación.

Con respecto al Antropoceno, es evidente que su estudio está comenzando en este siglo XXI, perfilándose como una etapa fundamental de la historia humana. Aún no se ha incluido, ni requiere ser incluido como serie/época de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional. Su importancia es magna y radica en el hecho que será el vector fundamental en la solución de las problemáticas ambientales de la actualidad; porque dará la base para establecer estrategias y acciones por el mejoramiento, la preservación y la protección ambiental a escala mundial. El Antropoceno es y será una importantísima y esencial etapa de la historia de la humanidad.

Además, la crisis humanitaria actual, enraizada en la crisis ambiental, cuestiona y contradice nuestra visión del mundo *vis-à-vis* de la postmodernidad. Evidencia la contradicción entre la naturaleza y la ególatra cultura humana: una historia humana que lesiona la historia geológica de la vida en la Tierra acaecida durante millones de años. La idea del humanismo renacentista como inicio de la cúspide del saber humano, se contradice con el sentimiento de dominación y explotación de la naturaleza, que la era industrial y científico-tecnológica institucionalizó como vector del progreso. La crisis climática y ambiental pone en entredicho las estrategias económicas y geopolíticas fundadas sobre los recursos no renovables, como los hidrocarburos y el carbón, en tanto que fuentes de energía del llamado “progreso” material humano. El progreso depredador del ser humano borró la finalidad, el *Télos* (*Τέλος εως [ους] τό*), o realización, (cumplimiento, consumación o finalidad), de la historia geológica y de la vida en la Tierra. La egolatría humana parecería cerrar las sucesiones exitosas de la vida en la historia geológica, con su presencia “pensante” (*sic*) en la noosfera. Las ciencias humanas separaron la esencia de la explicación causal de los fenómenos humanos, de las causas fundamentales y del decurso de la naturaleza. El ser humano se separó de su fundamento vital: la naturaleza. Por ello, la libertad humana, tan preconizada por humanistas y filósofos (*v. gr.* las ideas de Jean Paul Sartre y Martín Heidegger, al respecto), sólo puede ser posible sobre la base de una consciencia y pertenencia de y a la naturaleza toda. Ahora, en la esperanza de una postmodernidad de nueva concepción, una innovada consciencia ambiental requiere urgentemente un renovado diálogo entre la naturaleza y todas las ciencias del relativo conocimiento y saber humanos. Por todo ello, sería fatal aplazar, *sine die*, las acciones en pro del medio ambiente; jestá de por medio el milagroso fenómeno de la vida en la Tierra!



<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Salvador-Ortuno-Arzate-74472572>

### Salvador Ortuño Arzate, Semblanza sucinta

Profesor titular en la Escuela Militar de Ingenieros de la Rectoría del Ejército y la Fuerza Aérea; y en la Facultad de Ingeniería de la UNAM; en asignaturas de Ciencias de la Tierra; Consultor independiente en temas de Geología y exploración petrolera.

Ha sido investigador en el Instituto Mexicano del Petróleo por más de veinticinco años; y en el *Institut Français du Pétrole*, desempeñándose como investigador huésped (“*Visiteur scientifique*”), para el desarrollo de proyectos de investigación y uso de nuevas tecnologías de modelado geológico, caracterización de sistemas petroleros, métodos de exploración petrolera, yacimientos naturalmente fracturados y teledetección aeroespacial aplicada a la exploración de recursos petroleros.

Asimismo, ha publicado libros y artículos técnicos, *v. gr.* “*El Mundo del Petróleo*”. FCE, 2009; “*La seguridad energética como elemento de la seguridad nacional*”, “*Perspectivas petroleras de México*”; “*¿Cuándo se agotará el petróleo?*”; “*Campos maduros, retos difíciles*”; y “*Chicontepec: dislate técnico y político*”.

Ejerce la pintura al óleo, como reflejo de la maravilla estética de la naturaleza y la Geología del planeta.

## Añoranza y plenitud (Parque Nacional de Banff)

**Pintor: Salvador Ortuño Arzate**



## Introducción al modelado de sistemas petroleros: Modelado 1D

Pinzon-Sotelo, Marisol Polet<sup>1</sup>, Nava-Cedillo Armando, Tapia-Juárez Diana Roberta, Barcenas-Ramirez Maribel

Circuito Mediterráneo 5, Lomas Residencial, Poza Rica de Hidalgo Veracruz

<sup>1</sup>poletpinzon@gmail.com

### Resumen

La columna litológica de una sección geológica publicada por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), ubicada en el Cinturón Plegado Perdido fue tomada como base para analizar la historia termal y la generación de hidrocarburos mediante el modelado 1D, usando el software PetroMod. Los resultados del modelado 1D sugieren que la generación de hidrocarburos da inicio en Eoceno superior y continúa en el tiempo Presente, resultado del incremento de la temperatura y la historia de sepultamiento de la cuenca, en el contexto estructural del sistema ligado del Cinturón Plegado Perdido, el cual funciona como condicionante del proceso de maduración.

Palabras clave: madurez termal, modelado 1D, Cinturón Plegado Perdido.

### Objetivo

Realizar el modelo 1D de sistemas petroleros para analizar la madurez termal de la roca generadora.

### Introducción

La exploración de hidrocarburos se realiza de manera estandarizada mediante un análisis sistémico interdisciplinario, a través del cual se han logrado seleccionar y jerarquizar los criterios geológicos que permiten, entre otros objetivos, la optimización de los tiempos, dar certidumbre en la delimitación de áreas de interés económico-petrolero y en la reducción del riesgo.

La identificación y establecimiento del Sistema Petrolero (Magoon, 1987) ha permitido analizar en forma integral el papel que juegan los elementos (roca generadora, roca almacén, roca sello y trampa) y procesos fisicoquímicos geológicos (generación, migración, acumulación y preservación) necesarios para que exista un yacimiento de petróleo (aceite y/o gas).

El análisis de cuencas, mediante el modelado de sistemas petroleros representa una herramienta fundamental en todos los segmentos de la cadena de valor de hidrocarburos, desde la exploración y producción hasta el comercio y la refinación. El modelado de sistemas petroleros 1D se realizó de manera ilustrativa en la porción Norte del Golfo de México, geológicamente en el área conocida como Cinturón Plegado Perdido (Figura 1).

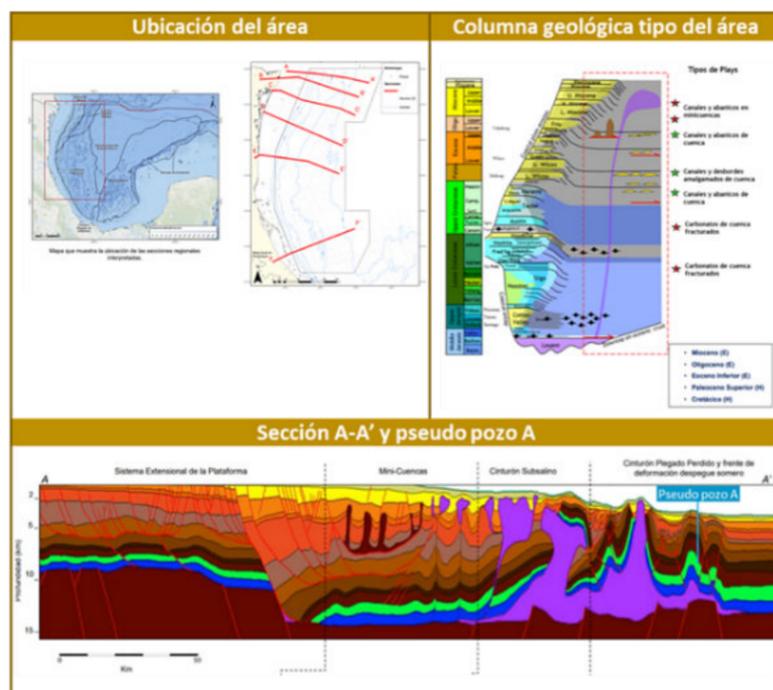


Figura 1. Ubicación del área, columna geológica tipo, sección A-A' y pseudo pozo A (Tomado de CNH, 2015).

### Generalidades

El **Sistema Petrolero** es un sistema natural donde existe una relación genética entre una roca generadora activa y la acumulación aceite y/o gas resultante (Magoon y Dow, 1994). Este concepto describe de manera integral y evolutiva los distintos elementos y procesos que intervienen para que una acumulación de hidrocarburos exista, donde los elementos del sistema son: roca generadora, roca almacén, sello y rutas de migración. Los procesos asociados son la generación, migración, acumulación y preservación de los hidrocarburos en conjunto con la formación de la trampa que los contiene. Cada uno de estos elementos deben coexistir en una secuencia de tiempo y espacio para que puedan formar una acumulación de hidrocarburos (Magoon y Dow, 1994).

Los **elementos del sistema petrolero roca generadora**: (i) **roca generadora**, roca sedimentaria depositada en medios acuosos, anóxicos altamente reductores y de baja energía que favorecen la buena calidad, riqueza de la materia orgánica y su preservación, propiciando la generación de hidrocarburos en el tiempo geológico, bajo el incremento gradual de temperatura; (ii) **roca almacén**, roca sedimentaria con suficiente porosidad y permeabilidad para contener y permitir el flujo de hidrocarburos; (iii) **roca sello**, rocas sedimentarias compuestas por lutitas o evaporitas, impermeables y evitan el paso de los hidrocarburos a otras unidades de roca; (iv) **trampa**, convencionalmente es una estructura geológica y/o secuencia sedimentaria que favorece la acumulación de hidrocarburos (PEMEX, 2012).

El **modelado de sistemas petroleros** es un modelo conceptual, digital que permite la integración y el análisis de los elementos y procesos (Hantschel y Kauerauf, 2009). En dicho modelado se interrelacionan los elementos para simular en orden los procesos fisicoquímicos de generación, expulsión, migración, acumulación y preservación de los hidrocarburos a través del tiempo geológico.

El **modelo geológico 1D** comprende un modelo unidimensional de los procesos sedimentarios de la cuenca a través del tiempo con el objetivo principal de identificar y estimar el potencial de hidrocarburos del sistema petrolero. Permite modelar la cuenca mediante la simulación en el tiempo geológico, iniciando con la sedimentación de las unidades geológicas más antiguas sobre la secuencia completa de las unidades que han sido depositadas hasta el presente, considerando el análisis de los procesos geológico-estructurales y procesos de subsidencia de la cuenca sedimentaria (controlados por procesos tectónicos y variaciones del nivel del mar). Diversos procesos geológicos son calculados cada periodo de tiempo, destacando: depósito, compactación, análisis del flujo de calor, generación de petróleo, entre otros.

### Metodología

- La construcción de un modelo 1D precisa la siguiente información:
- Columna estratigráfica
- Espesor de las unidades
- Litología
- Porosidad
- Conocimiento de los principales procesos geológicos del área (eventos de deformación, erosiones, intrusión salina/ ígnea, entre otros)
- Edad de los principales eventos de deformación
- Paleobatimetrías
- Temperatura o gradiente de temperatura del área
- Carbono Orgánico Total
- Cinética
- Historia del flujo de calor
- Temperatura de la interfaz agua-sedimento

De manera específica este modelo 1D tomó como base la columna geológica de una sección publicada por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), ubicada en el Cinturón Plegado Perdido, la cual se consideró para analizar la historia termal y la generación de hidrocarburos. Se tomaron en cuenta los datos geológicos regionales del área, tales como, columna geológica tipo, roca generadora, principales Plays y ambientes sedimentarios asociados con la roca almacén, roca sello y tipos de trampas publicados en el Atlas Geológico de Aguas Profundas (CNH, 2015).

El modelado de sistemas petroleros consta de dos etapas principales: 1) la construcción del modelo y 2) el modelado directo (Figura 2).

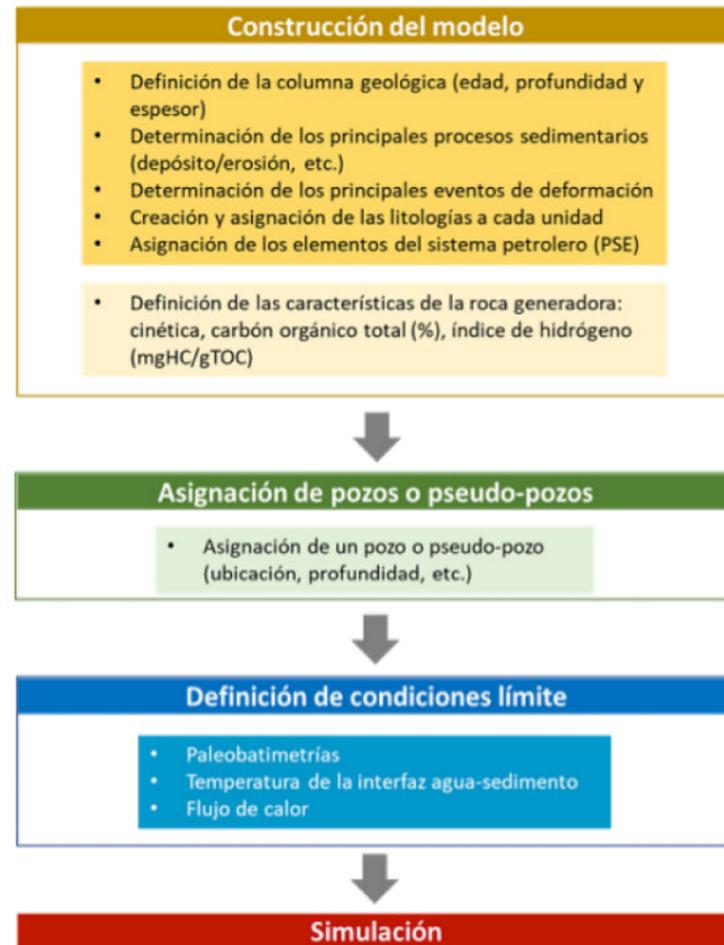


Figura 2. Flujo de trabajo para construcción de un modelo 1D.

1. Construcción del modelo. Contempla generar un modelo estructural, definir la cronología del depósito y las propiedades físicas de cada capa.

2. Modelado directo. Realiza cálculos en el modelo que permiten simular la historia de sepultamiento, los cambios de presión y temperatura, la maduración del kerógeno y la expulsión, migración y acumulación de hidrocarburos.

Finalmente, a través de la calibración se comparan los resultados del modelo con las mediciones independientes o datos conocidos del área, con el objetivo de lograr un modelo coherente.

### Resultados

En este modelo se consideraron 16 unidades estratigráficas las cuales van desde el Jurásico hasta el Reciente, donde las cimas en el tiempo actual se basaron en las profundidades aproximadas que se obtuvieron de la sección A-A'. La litología que se introdujo en el modelo comprende de manera general las características de las rocas generadora, almacén y sello descritas en la literatura (CNH, 2015). La cinética que se utilizó fue la teórica de Pepper y Corvi tipo II B (Pepper y Corvi, 1999), siendo esta la que mejor representa las condiciones del ambiente sedimentario de la roca generadora de edad Jurásico superior en el área de estudio.

Los valores de las condiciones límites introducidos en el modelo (Figura 3) respecto a la interfaz agua-sedimento fueron los automáticos de acuerdo con Wygrala (1989), en tanto los valores del flujo de calor fueron extraídos del modelo de McKenzie, finalmente las paleobatimetrías se sustentan en las restauraciones ilustradas por la CNH.

La calibración de la temperatura en el modelo se realizó mediante la definición de un gradiente geotérmico de 28 °C/Km (Figura 4).

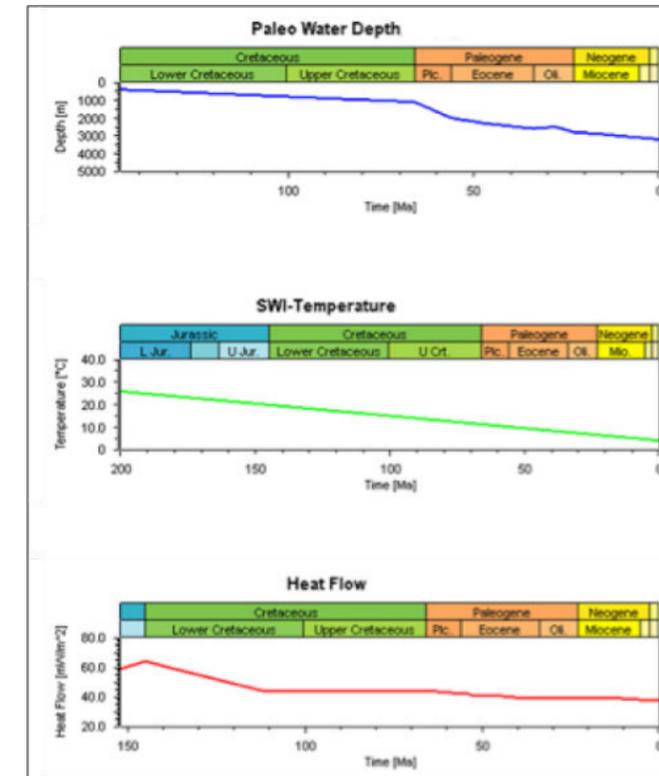


Figura 3. Tablas de las condiciones límite paleobatimetrías, temperatura de interfaz agua-sedimento y flujo de calor.

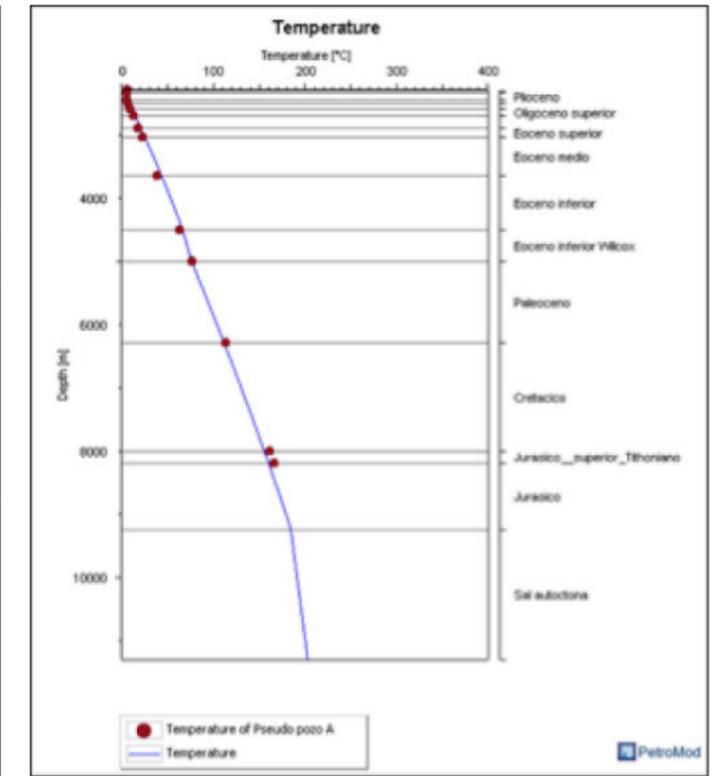


Figura 4. Curva de temperatura obtenida del modelado para el pseudo pozo A calibrada con los valores obtenidos a partir de la aplicación un gradiente geotérmico de 28 °C/Km.

El modelado de sistemas petroleros 1D sugiere que la roca generadora entró en ventana de principal de aceite durante el Cretácico superior-Paleoceno, en tanto que la ventana principal de aceite se presenta en el Eoceno, la ventana tardía de aceite se desarrolla durante el Eoceno superior-Oligoceno, actualmente la se encuentra en ventana de gas (Figura 5).

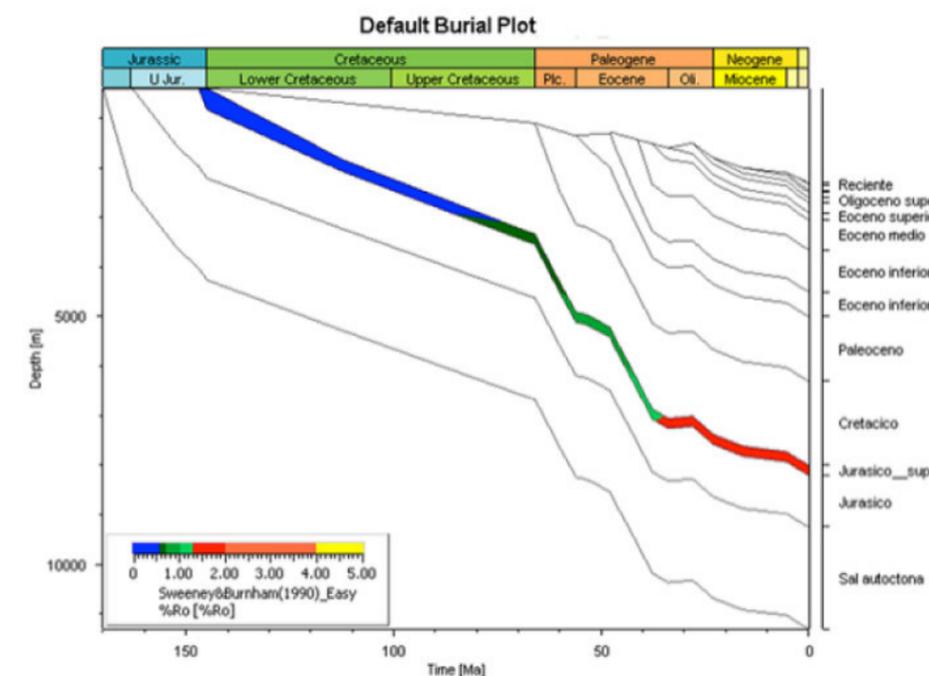


Figura 5. Gráfico de historia de sepultamiento vs madurez térmica de la roca generadora.

## Conclusiones

El modelado 1D en el área, mostró que la generación de hidrocarburos (aceite y gas) inició en Eoceno superior y continúa hasta el tiempo Presente, como resultado del incremento de la temperatura y la historia de sepultamiento de la cuenca. Sin embargo, para lograr un análisis con mayor precisión respecto a cuál tipo de hidrocarburos pudiera acumularse, se precisa complementar el modelo con datos duros de pozo, así como con un análisis estructural detallado sobre la formación de la trampa.

## Referencias

CNH. 2015. Atlas Geológico de Aguas Profundas. Golfo De México - Aguas Profundas Norte. Cinturón Plegado Perdido-Cinturón Subsalino-Cordilleras Mexicanas. Síntesis Geológico Petrolera.

Hantschel, T., y A. I. Kauerauf. 2009. Fundamentals of basin and petroleum systems modeling: Berlin, Springer, 1-476 p.

PEMEX. 2012. Manual del análisis y evolución de sistemas petroleros. Versión 1.0. Pemex Exploración y Producción. Subdirección de Exploración.

Magoon L.B. y Dow, W.G. 1994. The Petroleum System, Chapter 1, Part 1. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60: 3-24.



**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)

## Petroleum System Analysis

### Description

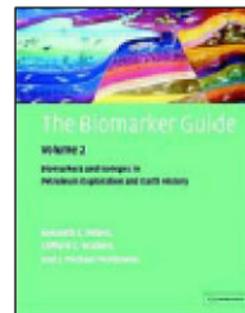
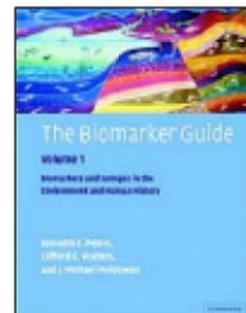
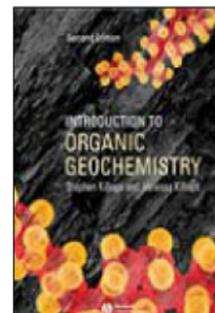
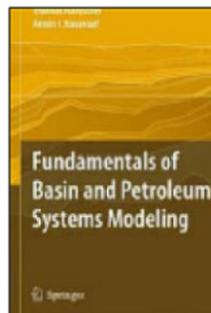
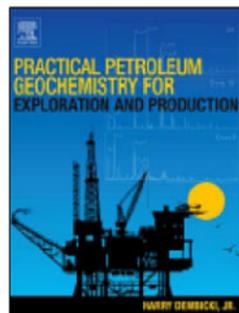
A global network of people interested in all aspects of petroleum system analysis such as stratigraphy, structural evolution, compaction, rock and fluid properties, diagenesis, exploration and reservoir geochemistry, heat flow, rifting, hydrocarbon migration and mixing etc.



<https://www.linkedin.com/groups/1052097/>

<https://www.youtube.com/channel/UCi5LRwuVSTh6JrYFzw2nSwg>

## Libros recomendados



## Huellas de aves, pterosaurios, dinosaurios y el límite K/Pg en Coahuila, México

Serrano-Brañas, Claudia I. <sup>1,2</sup>, Espinosa-Chávez, B. <sup>1</sup>, Flores-Ventura, J. <sup>3</sup>, Barrera-Guevara, D. <sup>4</sup>, Torres-Rodríguez, E. <sup>5</sup>, Cadena-González, D. <sup>6</sup>, Vega, F.J. <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Benemérita Escuela Normal de Coahuila, Calzada de los Maestros 858, Zona Centro

Poniente, Saltillo, Coahuila, 25000, México

<sup>2</sup> Department of Paleobiology, National Museum of Natural History, Smithsonian

Institution, Washington, DC, 20013-7012, EUA

<sup>3</sup> Santa Engracia 257, Fraccionamiento Santa Elena, 25015, Saltillo, Coahuila, México

<sup>4</sup> Prepa Tec Garza Lagüera, Puerto Topolobampo 4603, Las Brisas Sexto Sector, 64790,

Monterrey, Nuevo León, México

<sup>5</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior,

Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, CDMX, México

<sup>6</sup> Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito

Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, CDMX, México

### Resumen

Recientemente, distintos tipos de huellas de aves, pterosaurios y dinosaurios fueron reportados en dos localidades de la Formación Las Encinas (San Francisco y Amargos), al norte de la Cuenca de Parras en el estado de Coahuila y cuya edad corresponde al Maastrichtiano superior (66.1 Ma). La localidad Amargos presenta una capa por encima del horizonte con huellas de aves, que representa depósitos del tsunami que se registró en el área como producto del impacto de Chicxulub. Esta capa contiene numerosas esférulas y bioclastos de ostréidos, ammonites, crustáceos, briozoarios y madera. Estos sitios (San Francisco y Amargos) representan una gran oportunidad para el estudio de las últimas faunas que habitaron durante este período de tiempo geológico antes del límite K-Pg. Particularmente, la localidad San Francisco es muy importante debido a la gran abundancia de icnitas que contienen los diferentes estratos presentes en ella. Con referencia a las huellas de pterosaurios, se ha reportado la presencia de miembros de la Familia Azhdarquidae; mientras que los dinosaurios están representados por huellas tridáctilas que al parecer

corresponden a un tiranosaurido. El registro de huellas de aves en esta localidad es mucho más abundante y diverso, el cual estaba constituido hasta el año 2016 por cinco morfotipos distintos; sin embargo, tres nuevos tipos de huellas de aves palmípedas fueron descritos recientemente. Estas nuevas huellas son ecomorfológicamente comparables con miembros modernos de aves anseriformes (gansos, cisnes y patos) y de la Familia Ardeidae (garzas y garcetas). En particular, las nuevas huellas de aves palmípedas junto con los otros seis morfotipos de huellas de aves descritos previamente para dicha localidad, indican que San Francisco puede considerarse a nivel mundial, como el sitio icnológico más diverso de aves cretácicas hasta la fecha. La presencia de huellas de aves junto con diferentes trazas de invertebrados (nematodos, anélidos y larvas de insectos) y vertebrados (pterosaurios y tiranosáuridos), sugiere que esta zona pudo representar una extensa área de alimentación con abundantes recursos.

### Introducción

El Grupo Difunta (Coahuila y Nuevo León) corresponde a una secuencia sedimentaria de origen marino, transicional y continental, representado por dos cuencas sedimentarias conocidas como Parras y La Popa, con edades que van del Campaniano tardío al Paleoceno tardío (McBride et al., 1974; Eberth et al., 2004; Lawton et al., 2009, 2021). Los fósiles reportados para las formaciones que afloran al suroeste, sur y sureste de Coahuila incluyen foraminíferos, corales, anélidos, gasterópodos marinos y continentales, ostréidos, rudistas, otros bivalvos marinos y continentales, ammonites, nautiloideos, arácnidos, insectos, ostrácodos, decápodos, briozoarios, equinodermos, peces cartilaginosos y óseos, dinosaurios, reptiles marinos, pterosaurios, cocodrilos, tortugas, mamíferos, algas, hojas y frutos. El registro de vertebrados cretácicos se centra en la Formación Cerro del Pueblo de edad campaniana, en donde se han realizado importantes hallazgos de dinosaurios y otros reptiles, además de peces, invertebrados y plantas (Hernández-Rivera, 1992; Hernández-Rivera y Kirkland, 1993; Kirkland et al., 2006; Rivera-Sylva et al., 2006; Gates et al., 2007; Calvillo-Canadell y Cevallos-Ferriz, 2007; Vogt et al., 2016; Serrano-Brañas y Prieto-Márquez, 2022). Huellas de aves, pterosaurios y dinosaurios han sido reportadas recientemente para dos localidades del Cretácico Superior (Maastrichtiano superior) de la Formación Las Encinas, norte de la Cuenca de Parras, Coahuila. Los afloramientos sugieren facies transicionales marino-estuarinas, en

estratos de arenisca fina que además incluyen trazas de invertebrados. Las localidades son conocidas como San Francisco y Amargos, ubicadas en la porción norte de la Cuenca de Parras y estratigráficamente cercanas al límite

K/Pg (Figura 1). La Formación Las Encinas sobreyace a la Formación Cerro Grande, e incluye la transición Cretácico-Paleógeno, lo cual fue indicado inicialmente por Murray et al. (1959) y confirmado posteriormente (McBride et al.,

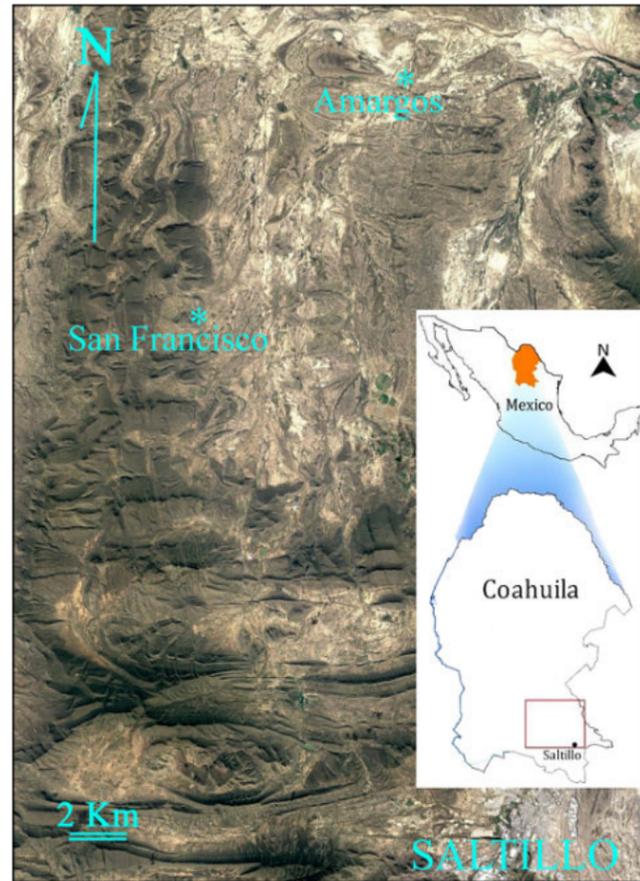


Figura 1.- Ubicación de las localidades San Francisco y Amargos, Coahuila, México.

1974; Wolleben, 1977; Vega et al., 1999, 2019; Perrilliat et al., 2008). Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a las formaciones Cerro Grande, Las Encinas y Rancho Nuevo (Figura 2). Con base en edades geocronológicas publicadas por Lawton et al. (2009) y correlación entre las formaciones Cerro Grande y Peedee (Carolina del Norte, EUA) basadas en edades isotópicas obtenidas de cutícula de crustáceos, Vega et al. (2013) sugieren una edad aproximada de 66.1 Ma para los estratos portadores de icnitas en la localidad de Amargos, en donde se encuentra una capa portadora de elementos de eyecta del impacto de Chicxulub, 10 metros por encima de las huellas de vertebrados (Figura 3). Marcas de oleaje predominan en los estratos portadores de icnitas en ambas localidades, aunque la interpretación paleoambiental para San Francisco es la de una zona marginal estuarina, con mayor aporte de materia orgánica,

en comparación con las condiciones marinas marginales de Amargos (Figura 4).

**El límite K/Pg**

En la Cuenca de Parras, la porción superior de la Formación Las Encinas contiene el límite K/Pg, discordante y sin evidencia de depósitos de elementos de eyecta en la mayor parte de los afloramientos, con excepción, hasta el momento, de la localidad Amargos, en donde una capa de calcarenita gris contiene abundantes esférulas de esmectita y calcita, delimitada en su porción superior por un estrato delgado de arenisca y conglomerado (Figura 5.1). Por debajo de la capa portadora de eyecta se encuentran abundantes ostréidos de talla pequeña, identificados como *Gorizdrella gorizdroae* (Figura 5.2), especie que indica el inicio del Paleoceno en cuencas de Afganistán (Stinnesbeck et al., 2016). Además del ostréido, se encuentran formas enanas de equinodermos (Figura

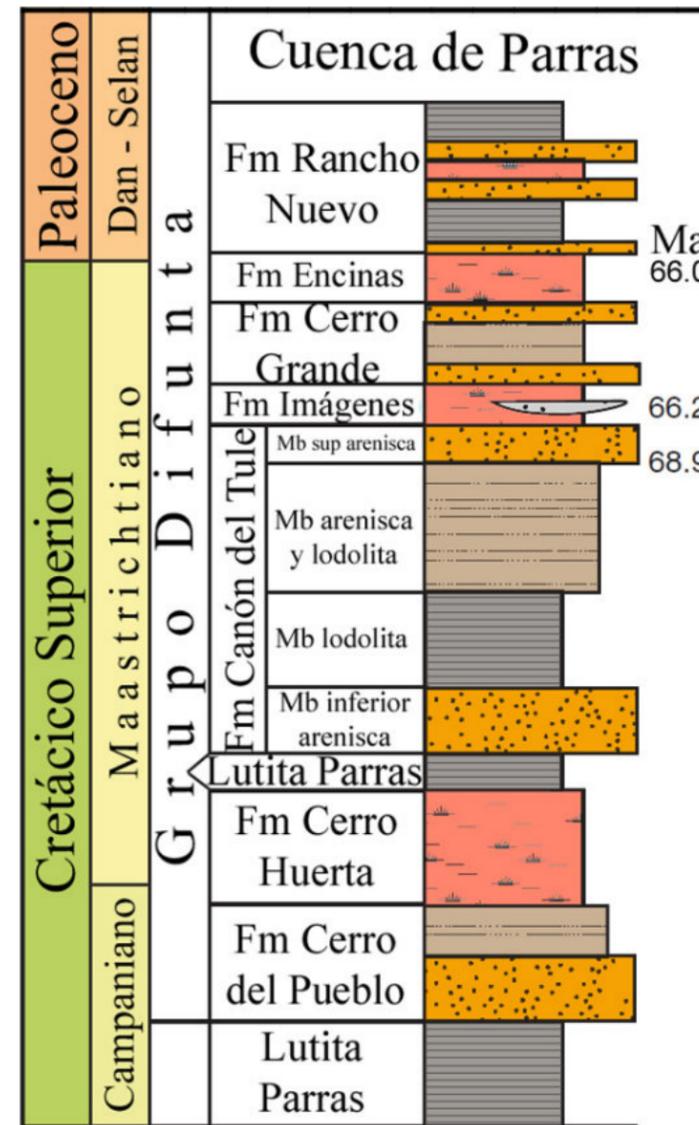


Figura 2.- Unidades litoestratigráficas de la Cuenca de Parras. Modificado de Lawton et al., 2009.

5.3), las cuales se encuentran en estudio. Stinnesbeck et al. (2016) sugieren que la fauna de ostréidos y equinodermos representa algunos de los primeros elementos que habitaron la zona durante el Paleoceno temprano, lo cual implica que los depósitos de eyecta serían retrabajados debido a elevaciones producto de la Orogenia Laramide, la cual habría comenzado en la zona durante el Maastrichtiano tardío. Esto significa que tanto los ostréidos como los equinodermos tendrían una talla pequeña debido al efecto "Liliput", el cual se ha documentado también para especies de crustáceos que lograron sobrevivir al evento K/Pg, mediante la estrategia

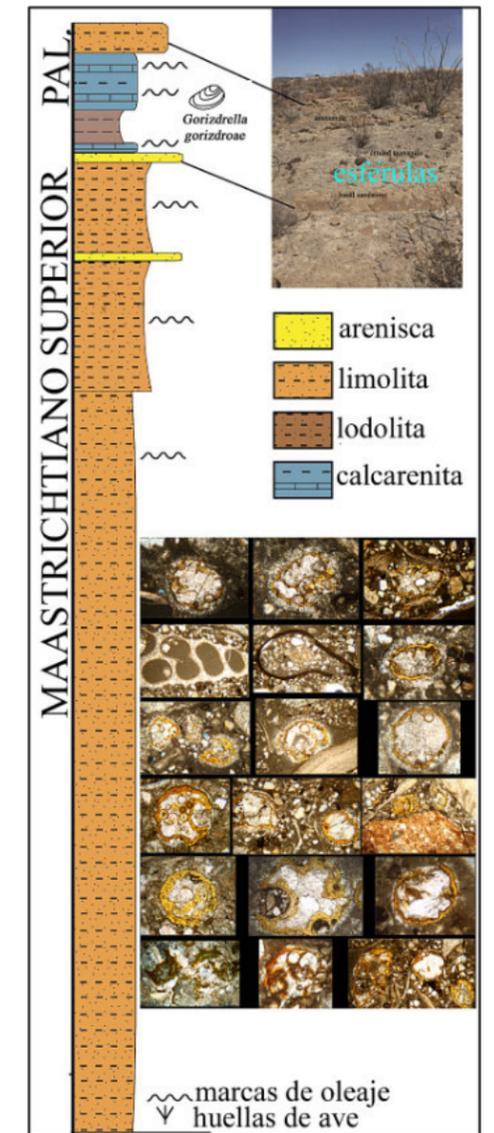


Figura 3.- Sección estratigráfica de la localidad Amargos, la cual incluye depósitos de la tsunamita K/Pg con esférulas de esmectita y calcita.

de reducción de talla e incremento poblacional (Martínez-Díaz et al., 2016).

El límite K/Pg fue ubicado inicialmente en la Cuenca de La Popa por Vega et al. (1989), situándolo entre los miembros Medio de Limolita y Superior de Lodolita de la Formación Potrerillos. Posteriormente, Lawton et al. (2005) documentaron con mayor precisión el límite K/Pg en la porción superior de una nueva unidad de la Formación Potrerillos, a la cual llamaron el Miembro de Arenisca Delgado, de donde describieron la historia sedimentaria de los depósitos del regreso del tsunami, producto del

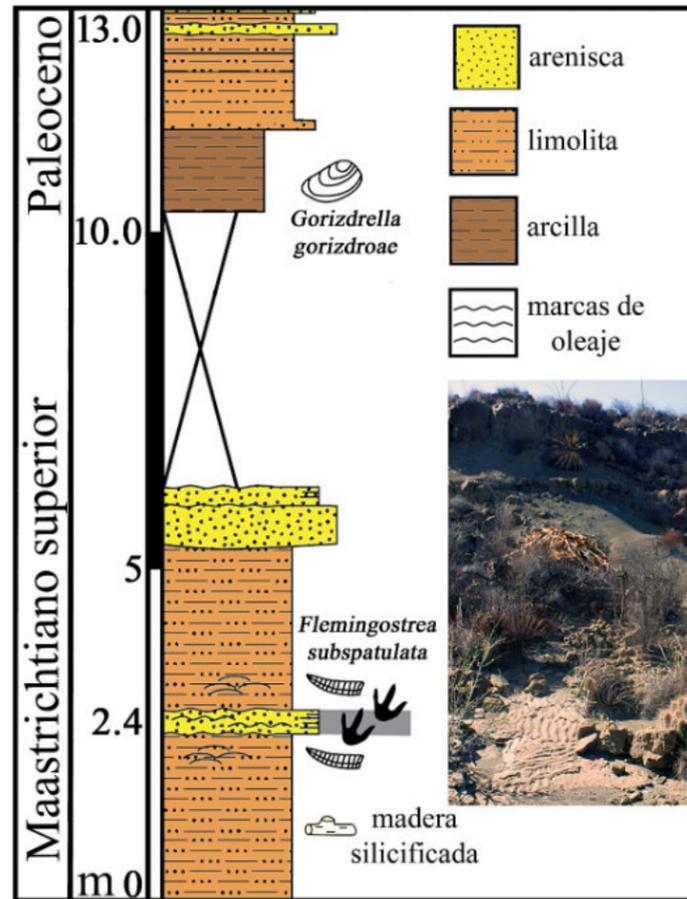


Figura 4.- Sección estratigráfica de la localidad San Francisco. Modificado de Stinnesbeck et al., 2016.

impacto de Chicxulub. Los afloramientos estudiados se ubican en la porción sureste del diapiro El Papalote, y representan el relleno irregular de valles y cañones/canales submarinos, con un espesor máximo de 4.6 metros, divididos en dos unidades, siendo la unidad basal (Unidad 1) la que contiene mayor cantidad de elementos de eyecta (Figura 5.4). Schulte et al. (2012) realizaron un estudio detallado de los afloramientos con elementos de eyecta, ubicados al sureste del diapiro El Papalote. Actualmente se encuentran en estudio otros afloramientos con eyecta en las Cuencas de Parras y La Popa, como parte del proyecto doctoral de uno de nosotros (DCG).

#### Paleoicnitas

Huellas de pterosaurios del Campaniano en la Formación Cerro del Pueblo han sido reportadas para la localidad del Pelillal (Rodríguez-de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1998; Rodríguez-de la Rosa, 2003; Bravo-Cuevas and Rodríguez-de la Rosa, 2014). De acuerdo a Stinnesbeck et al. (2016),

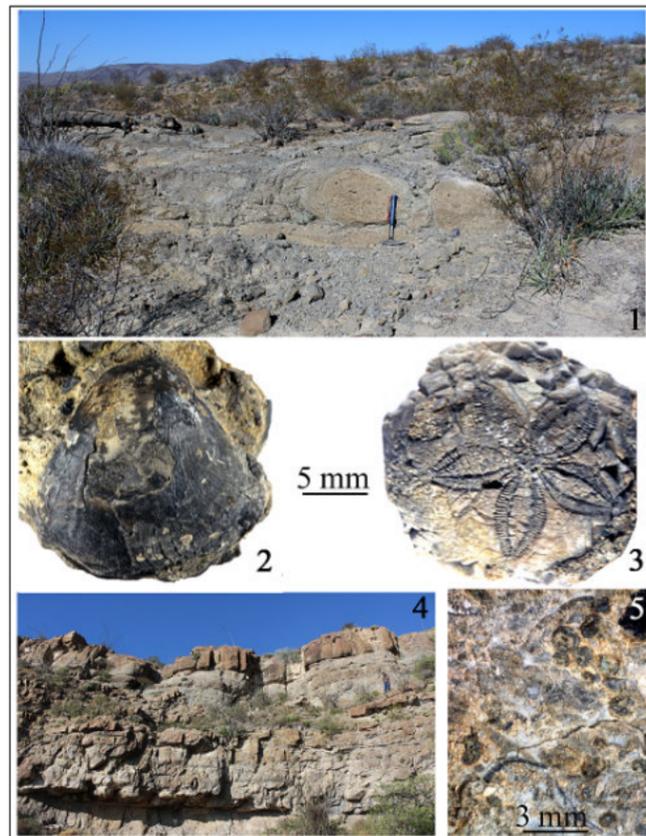


Figura 5.- 1, Capa portadora de elementos de eyecta, localidad Amargos. 2, *Gorizdrella gorizdroae* (Daniano), Amargos. 3, Equinoideo, Amargos. 4, Unidad 1 del Miembro de Arenisca Delgado, Hornets nest, SE del diapiro El Papalote. 5, Esférulas de Unidad Hornets nest.

las huellas (manos y patas) de pterosaurios presentes en San Francisco (Figura 6), pertenecen a individuos de la Familia Azhdarquidae, que corresponde a los pterosaurios de mayor talla registrados, incluyendo a *Quetzalcoatlus*. Los individuos que convivieron con aves en la localidad de San Francisco, tendrían una envergadura de al menos 4 metros. Las únicas huellas de dinosaurio halladas en San Francisco corresponden al tipo tridáctilo, de las cuales se ha descrito una pata derecha de un posible tiranosaurio (Stinnesbeck et al., 2016) (Figura 7).

El registro fósil de aves mesozoicas es muy escaso, por lo que se conoce poco sobre los diferentes grupos que vivieron durante ese intervalo de tiempo geológico. Sin embargo, durante las últimas dos décadas se han descubierto diferentes sitios a nivel mundial que contienen preservadas distintos tipos de huellas de aves mesozoicas, lo que permite proporcionar una mayor evidencia sobre la evolución de estos organismos y su paleoecología, especialmente durante el Período Cretácico

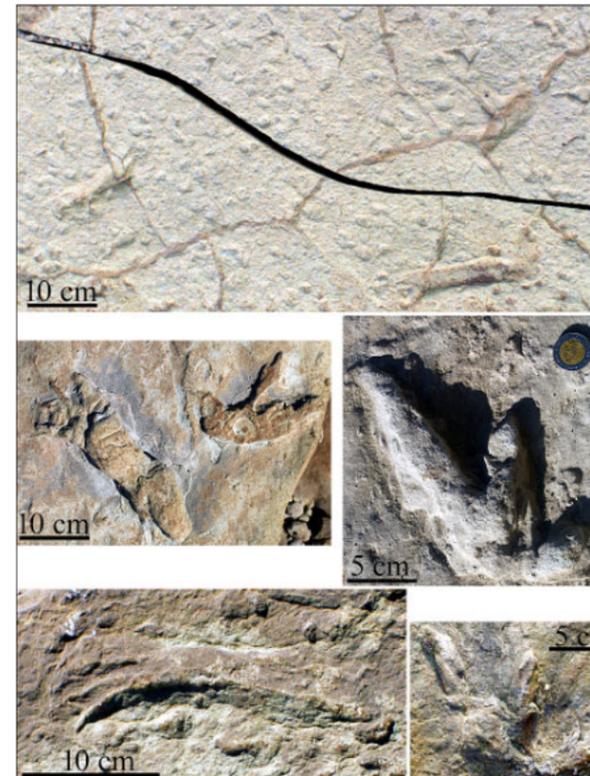


Figura 6.- Huellas de pterosaurios (pes y manos) de la localidad San Francisco.

(Kim et al., 2006, 2012, 2013; Lockley et al., 2006; Lockley and Harris, 2010; Xing et al., 2011, 2015; Buckley et al., 2018). Ocho icnoespecies de aves se conocen para el Cretácico Superior de Dakota (Mehl, 1931), Argentina (Alonso y Marquillas, 1986; Leonardi, 1994; Coria et al., 2002), Corea del Sur (Yang et al., 1995), Wyoming (Lockley et al., 2004), Alaska (Fiorillo et al., 2011). En el caso de México, existen algunos reportes de huellas de aves correspondientes al Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano), particularmente para las formaciones Cerro del Pueblo y las Encinas (Maastrichtiano superior) (Bravo-Cuevas and Rodríguez-de la Rosa, 2014; Stinnesbeck et al., 2016; Serrano-Brañas et al., 2021). La diversidad de aves reportada hasta el momento para las localidades de la Formación Las Encinas representa la mayor registrada a nivel mundial, pues incluye nueve morfotipos, seis de los cuales fueron reportados por Stinnesbeck et al. (2016) (Figura 8). Tres tipos de huellas de aves semipalmeadas fueron reportadas recientemente por Serrano-Brañas et al. (2021) (Figuras 9 y 10). El primer tipo de huella de ave corresponde al icnogénero *Leptoptilostipus* isp., el cual está representado por siete huellas pequeñas (3.8 cm de largo) y asimétricas que poseen tres impresiones de dedos con almohadillas

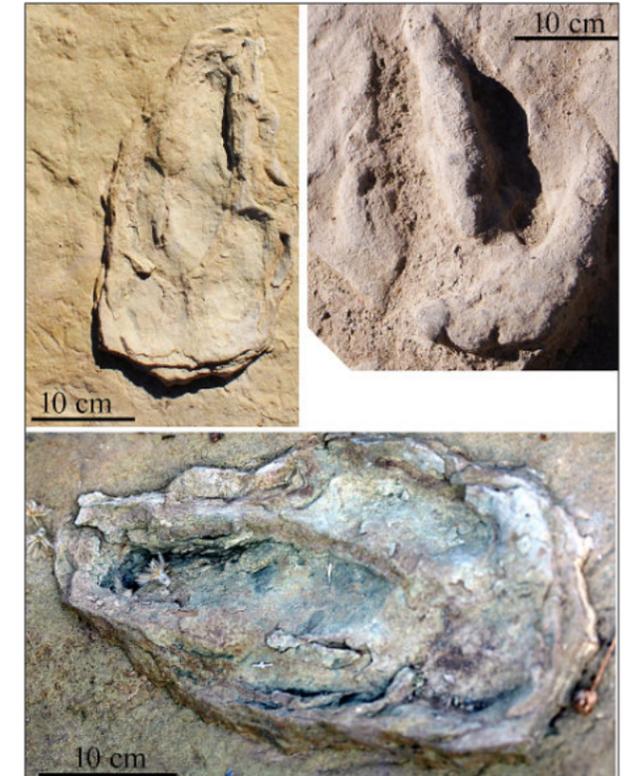


Figura 7.- Huellas de dinosaurios en la localidad San Francisco.

interfalángicas dirigidos hacia adelante y un hallux pequeño orientado posteromedialmente. La impresión de la membrana interdigital en estas huellas conecta por completo los extremos de los dedos laterales (dígitos II y IV); sin embargo, ésta sólo se encuentra unida a cada lado del dedo central (dígito III) en su parte media. El segundo tipo de huella de ave colectado en la localidad Rancho San Francisco fue designado como morfotipo A, el cual está representado por una sola huella semipalmeada pequeña (6 cm de largo), la cual se caracteriza por presentar tres dedos frontales muy delgados y un hallux alargado dirigido hacia atrás. En este caso, la impresión de la membrana interdigital solamente se encuentra presente entre el dedo central (dígito III) y un dedo lateral (dígito IV). Finalmente, el tercer tipo de huella de ave corresponde al morfotipo B, el cual está representado por siete huellas completas y una parcial, las cuales están distribuidas en dos rastros pertenecientes a dos individuos de tamaños similares. Estas huellas también poseen tres dedos frontales y un hallux trasero alargado como en el caso del morfotipo A pero a diferencia de éste, las huellas del morfotipo B poseen membranas interdigitales asimétricas entre ambos dedos laterales y el central, es decir, se observa un mayor desarrollo de la membrana entre los dedos II y III en

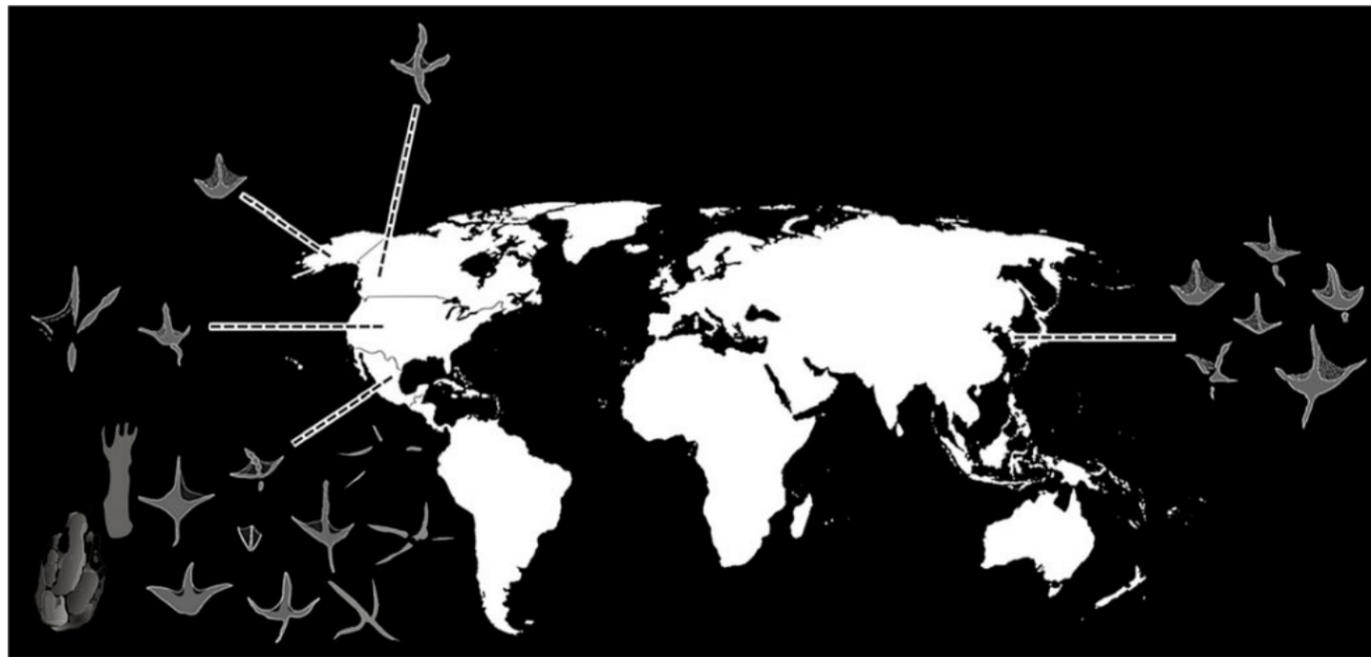


Figura 8.- Registro mundial de localidades cretácicas con registro de huellas semi-palmeadas de aves. Modificado de Serrano-Brañas et al., 2021.

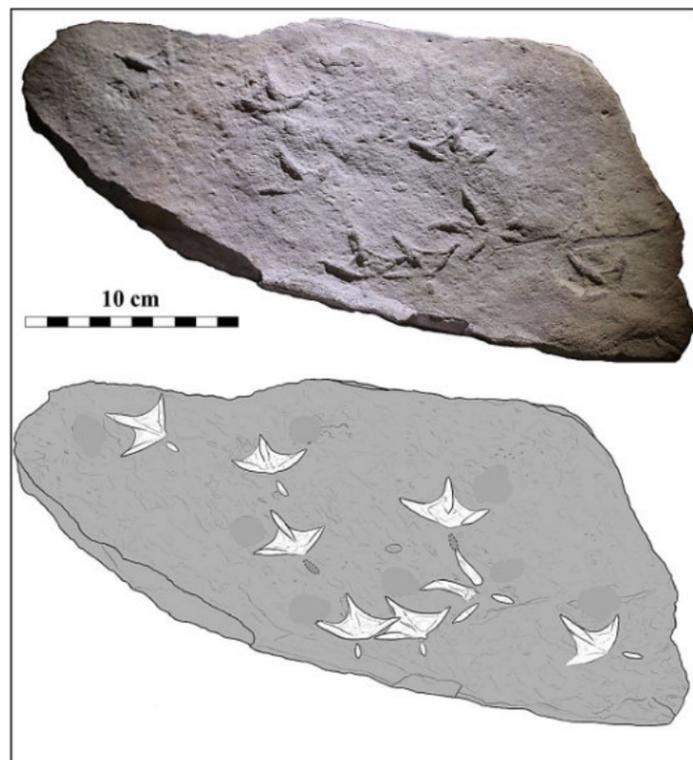


Figura 9.- Huellas de aves de la localidad San Francisco. Modificado de Serrano-Brañas et al., 2021.



Figura 10.- Huellas de aves de las localidades Amargos y San Francisco.

comparación con la que se encuentra entre los dedos III y IV, la cual es mucho más pequeña. El primer tipo de huella es similar a las de las aves modernas del Orden Anseriformes [por ejemplo, el ganso urraca (*Anseranas*

*semipalmata*]]; mientras que los morfotipos A y B se asemejan ecomorfológicamente a las huellas de las aves zancudas modernas pertenecientes a la Familia Ardeidae (por ejemplo, garzas y garcetas) (Figura 11).

Estudios previos llevados a cabo en la localidad San Francisco indican que esta área en el pasado representaba una zona marginal estuarina, con mayor aporte de materia orgánica. En la actualidad, se sabe que miembros modernos de las aves zancudas y del grupo de los anseriformes habitan en este tipo de ambientes donde encuentran numerosas fuentes de alimentación. De esta manera, la co-ocurrencia de huellas de aves junto con diferentes trazas producidas por distintos grupos de invertebrados (por ejemplo, *Cochlichnus* y *Skolithos* correspondientes a nematodos, anélidos y larvas de insectos, respectivamente), así como también de huellas de pterosaurios y de dinosaurios en el mismo estrato, sugiere que esta zona pudo haber representado un área de alimentación importante la cual contenía abundantes recursos disponibles para estos organismos.

**Conclusiones**

Los estudios de huellas llevados a cabo en las localidades de San Francisco y Amargos, indican la presencia de diferentes tipos de grupos de vertebrados (aves, pterosaurios y dinosaurios) (Figura 12) y de invertebrados (por ejemplo, nematodos, anélidos y larvas de insectos) que habitaron en esa zona durante la parte más tardía de la era Mesozoica. Especialmente, los registros de huellas

de aves hallados dentro de estas localidades son muy importantes, ya que sugieren una gran diversidad y abundancia de estos organismos justo antes del límite K-Pg. En particular, el reciente hallazgo de tres huellas de aves cretácicas palmípedas colectadas en la localidad de San Francisco y denominadas como *Leptoptilostipus* isp., morfotipo A y morfotipo B, indica que éstas pueden ser ecomorfológicamente comparables con las de aves modernas. Por ejemplo, la morfología de *Leptoptilostipus* isp. es similar a las huellas de miembros modernos del grupo anseriformes (por ejemplo, el ganso urraca), mientras que los morfotipos A y B son comparables con las huellas de garzas y garcetas de la Familia Ardeidae. Ahora bien, la presencia de huellas de aves con diferentes trazas de invertebrados y vertebrados (pterosaurios de la Familia Azhdarquidae y tiranosauridos) en el mismo estrato, sugiere que esta zona pudo representar en el pasado una extensa área de alimentación con abundantes recursos disponibles. Finalmente, el descubrimiento de estas tres nuevas huellas de aves palmípedas, además del registro de los otros seis morfotipos descritos previamente para dicha localidad, indican que la localidad San Francisco representa a la fecha, el sitio icnológico más diverso de este tipo de organismos a nivel mundial para el Cretácico Superior.

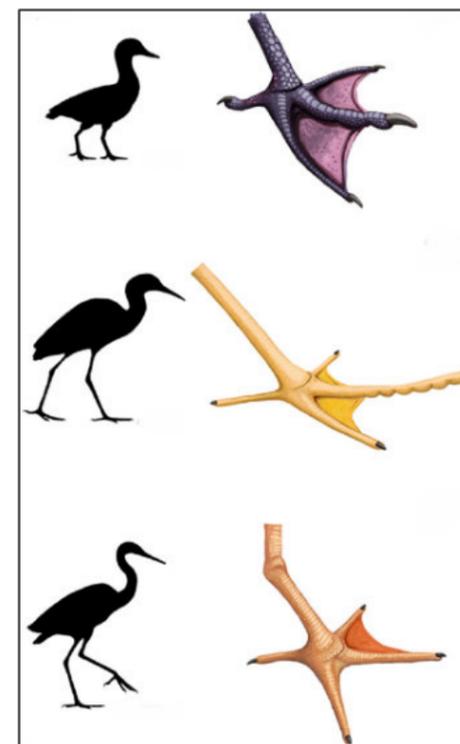


Figura 11.- Aves semi-palmeadas actuales, cuyas icnitas son similares a las encontradas en la localidad San Francisco. Modificado de Serrano-Brañas et al., 2021.



Figura 12.- Reconstrucciones ambientales para la localidad San Francisco durante el Maastrichtiano tardío (66.1 Ma).

**Referencias**

Alonso, R.N., Marquillas, R.A., 1986. Nueva localidad con huellas de dinosaurios y primer hallazgo de huellas de aves en la Formación Yacoraite (Maastrichtiano) del norte argentino. 4º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas 2, 33–42.

Bravo-Cuevas, V.M., Rodríguez-de la Rosa, R.A., 2014. A summary of the Mesozoic vertebrate tracks of Mexico. In: Rivera-Sylva, H.E., Carpenter, K., Frey, E. (Eds.), *Dinosaurs and Other Reptiles from the Mesozoic of Mexico*. Indiana University Press, pp. 181–191.

Buckley, L.G., McCrea, R.T., Xing, L., 2018. First report of Iguanodontidae (Aves) from the Lower Cretaceous Gates Formation (Albian) of western Canada, with description of a new ichnospecies of *Iguanodontis*, *Iguanodontis canadensis* ichnosp. nov. *Cretaceous Research* 84, 209–222.

Calvillo-Canadell, L. and Cevallos-Ferriz, S.R., 2007. Reproductive structures of Rhamnaceae from the Cerro del Pueblo (Late Cretaceous, Coahuila) and Coatzingo (Oligocene, Puebla) Formations, Mexico. *American Journal of Botany* 94, 1658–1669.

Coria, R.A., Currie, P.J., Eberth, D., Garrido, A., 2002. Bird footprints from the anacleto formation (late cretaceous), neuquén, Argentina. *Ameghiniana* 39, 453–463.

Eberth, D.A., Delgado De Jesús, C.R., Rodríguez-de La Rosa, R.A., Lerbekmo, J.F., Brinkman, D.B., Sampson, S.D., 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, southern Coahuila, Mexico: Reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21(3), 335–352.

Fiorillo, A.R., Hasiotis, S.T., Kobayashi, Y., Breithaupt, B.H., McCarthy, P.J., 2011. Bird tracks from the Upper Cretaceous Cantwell Formation of Denali National Park, Alaska, USA: A new perspective on ancient northern polar vertebrate biodiversity. *Journal of Systematic Palaeontology* 9(1), 33–49.

Gates, T.A., Sampson, S.D., Delgado De Jesús, C.R., Zanno, L.E., Eberth, D., Hernández-Rivera, R., Aguillón-Martínez, M.C., and Kirkland, J.I., 2007. *Velafrons coahuilensis*, a new lambeosaurine hadrosaurid (Dinosauria: Ornithomimidae) from the late Campanian Cerro del Pueblo Formation, Coahuila, Mexico: *Journal of Vertebrate Paleontology* 27(4), 917–930.

Hernández-Rivera, R.R. 1992. New dinosaur finds in the Cerro del Pueblo Fm. (Upper Cretaceous, Campanian) from Coahuila State, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 12, (Sup. To 3), 32A.

Hernández-Rivera, R.R., Kirkland, J.I. 1993. The rediscovery of a rich uppermost Campanian dinosaur locality in the Cerro del Pueblo Fm., Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 13, (Sup. To 3), 41A.

Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S., Lockley, M., 2006. The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): more evidence of high avian diversity in East Asia. *Cretaceous Research* 27, 56–69.

Kim, J.Y., Lockley, M.G., Seo, S.J., Kim, K.S., Kim, S.H., Baek, K.S., 2012. A paradise of Mesozoic birds: the world's richest and most diverse Cretaceous bird track assemblage from the Early Cretaceous Haman Formation of the Gajin Tracksite, Jinju, Korea. *Ichnos* 19(1–2), 28–42.

Kim, J.Y., Kim, M.K., Oh, M.S., Lee, C.Z., 2013. A new semi-palmate bird track, *Gyeongsangornipes lockleyi* ichnogen. et ichnosp. nov., and *Koreanaornis* from the Early Cretaceous Jindong Formation of Goseong County, Southern Coast of Korea. *Ichnos* 20(2), 72–80.

Kirkland, J.I., Hernández-Rivera, R., Gates, T., Paul, G.S., Besbitt, S., Serrano-Brañas, C.I., García-de La Garza, J.P., 2006. Large hadrosaurine dinosaurs from the latest Campanian of Coahuila, Mexico, in Lucas, S.G., Sullivan, R.M., eds., *Late Cretaceous Vertebrates from the Western Interior: New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 35, 299–316.

Lawton, T.F., Shipley, K.W., Aschoff, J.L., Giles, K.A., Vega, F.J., 2005. Basinward transport of Chicxulub ejecta by tsunami-induced backflow, La Popa basin, northeastern Mexico, and its implications for distribution of impact-related deposits flanking the Gulf of Mexico. *Geology* 33(2), 81–84.

Lawton, T.F., Bradford, I.A., Vega, F.J., Geherls, G.E., Amato, J.M., 2009. Provenance of Upper Cretaceous–Paleogene sandstones in the foreland basin system of the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico, and its bearing on fluvial dispersal systems of the Mexican Laramide Province. *Geological Society of America Bulletin* 121(5/6), 820–836.

Lawton, T.F., Giles, K., Rowan, M., 2021. La Popa Basin, Nuevo León and Coahuila, México: Halokinetic Sequences and Diapiric Structural Kinematics in the Field. *Springer Geology Fieldguides*, 97 p.

Leonardi, G., 1994. *Annotated Atlas of South America Tetrapod Footprints (Devonian to Holocene)*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, p. 224.

Lockley, M.G., Harris, J.D., 2010. On the trail of early birds: a review of the fossil footprint record of avian morphological and behavioral evolution. In: Ulrich, P.K., Willet, J.H. (Eds.), *Trends in Ornithology Research*. Nova Science Publishers, pp. 1–63.

Lockley, M.G., Nadon, G., Currie, P.J., 2004. A diverse dinosaur-bird footprint assemblage from the Lance Formation, Upper Cretaceous, eastern Wyoming: implications for ichnotaxonomy. *Ichnos* 11(3–4), 229–249.

Lockley, M.G., Houck, K., Yang, S.Y., Matsukawa, M., Lim, S.K., 2006. Dinosaur dominated footprint assemblages from the Cretaceous Jindong Formation, Hallyo Haesang National Park area, Goseong County, South Korea: evidence and implications. *Cretaceous Research* 27, 70–101.

Martínez-Díaz, J.L., Phillips, G.E., Nyborg, T., Espinosa, B., Távora, V. de A., Centeno-García, E., Vega, F.J., 2016. Lilliput effect in a retroplumid crab (Crustacea: Decapoda) across the K/Pg boundary. *Journal of South American Earth Sciences* 69, 11–24.

McBride, E.F., Weidie, A.E., Wolleben, J.A., Laudron, R.C., 1974. Stratigraphy and structure of the Parras and La Popa Basins, northeastern Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 85(10), 1603–1622.

Mehl, M.G., 1931. New bird record from the Dakota Sandstone, of Colorado. *Geological Society of America Bulletin* 42, 441–452.

Murray, G.E., Wolleben, J.A., Boyd, D.R., 1959. Difunta strata of Tertiary age, Coahuila, Mexico. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 43, 2493–2495.

Perrilliat, M.C., Vega, F.J., Espinosa, B., Naranjo-García, E., 2008. Late Cretaceous and Paleogene freshwater gastropods from Northeastern Mexico. *Journal of Paleontology* 82(2), 255–266.

Rivera-Sylva, H.E., Rodríguez-de la Rosa, R., Ortiz-Mendieta, J.A., 2006. A review of the dinosaurian record from Mexico, in Vega, F.J. et al., *Studies on Mexican Paleontology: Dordrecht, Netherlands, Springer*, p. 233–248.

Rodríguez-de la Rosa, R.A., 2003. Pterosaur tracks from the latest Campanian Cerro del Pueblo Formation of southeastern Coahuila, in Buffeteau, E., Manzin, J.M., eds., *Evolution and Paleobiology of Pterosaurs: Geological Society of London Special Publication* 217, p. 275–282.

Rodríguez-de la Rosa, R.A., Cevallos-Ferriz, S.R., 1998. Vertebrates of the El Pelillal locality (Campanian, Cerro del Pueblo Formation), southeastern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18(4), 751–764.

Schulte, P., Smit, J., Deutsch, A., Salgess, T., Friese, A., Beichel, K., 2012. Tsunami backwash deposits with Chicxulub impact ejecta and dinosaur remains from the Cretaceous–Palaeogene boundary in the La Popa Basin, Mexico. *Sedimentology* 79, 737–765.

Serrano-Brañas, C.I., Prieto-Márquez, A., 2022. Taphonomic attributes of the holotype of the lambeosaurine dinosaur *Latirhinus uitstlani* from the late Campanian of Mexico: Implications for its phylogenetic systematics. *Journal of South American Earth Sciences* 114, 103689, 1–16.

Serrano-Brañas, C.I., Espinosa-Chávez, B., Flores-Ventura, J., Barrera-Guevara, D., Torres-Rodríguez, E., Vega, F.J., 2021. New insights on the avian trace fossil record from NE Mexico: Evidences on the diversity of latest Maastrichtian web-footed bird tracks. *Journal of South American Earth Sciences* 113, 1–15.

Stinnesbeck, W., Frey, E., Espinoza-Chávez, B., Zell, P., Flores-Ventura, J., Rivera-Sylva, H.E., González-González, A.H., Padilla-Gutiérrez, J.M., Vega, F.J., 2016. Theropod, avian, pterosaur, and arthropod tracks from the uppermost Cretaceous Las Encinas Formation, Coahuila, northeastern Mexico, and their significance for the end-Cretaceous mass extinction. *Geological Society of America Bulletin* 129 (3–4), 331–348.

Vega, F.J., Mitre-Salazar, L.M., and Martínez-Hernández, E., 1989. Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Grupo Difunta (Cretácico Superior-Terciario) en el noreste de México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología* 8, 179–187.

Vega, F.J., Perrilliat, M.C., Mitre-Salazar, L.M., 1999. Paleocene oysters from the Las Encinas Formation (Parras basin, Difunta Group), northeastern Mexico; stratigraphic implications, in: Bartolini, C., Wilson, J.L., Lawton, T.F. (Eds.), *Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico*, vol. 340. *Geological Society of America Special Paper*, p. 105–110.

Vega, F.J., Phillips, G.E., Nyborg, T., Flores-Ventura, J., Clements, D., Espinosa, B., Solís-Pichardo, G., 2013. Morphology and size variation of a portunoid crab from the Maastrichtian of the Americas. *Journal of South American Earth Sciences* 47, 116–135.

Vega, F.J., Naranjo-García, E., Aguillón, M.C., Posada-Martínez, D., 2019. Additions to continental gastropods from the Late Cretaceous and Paleocene of NE Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 71(1), 169–191.

Vogt, M., Stinnesbeck, W., Zell, P., Kober, B., Kontny, J., Herzer, N., Frey, E., Rivera-Sylva, H.E., Padilla-Gutiérrez, J.M., Amezcua, N., and Huerta, D.F., 2016. Age and depositional environment of the “dinosaur graveyard” at Las Águilas, southern Coahuila, NE Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 441, 758–769.

Wolleben, J., 1977. Paleontology of the Difunta Group (Upper Cretaceous–Tertiary) in northern Mexico. *Journal of Paleontology* 51(2), 373–398.

Xing, L.D., Harris, J.D., Jia, C.K., Luo, Z.J., Wang, S.N., An, J.F., 2011. Early Cretaceous bird-dominated and dinosaur footprint assemblages from the northwestern margin of the Junggar Basin, Xinjiang, China. *Palaeoworld* 20, 308–321.

Xing, L.D., Buckley, L.G., McCrea, R.T., Lockley, M.G., Zhang, J., Piñuela, L., Klein, H., Wang, F., 2015. Reanalysis of *Wupus agilis* (Early Cretaceous) of Chongqing, China as a large avian trace: Differentiating between large bird and small non-avian theropod tracks. PLoS One 10(5), e0124039.

Yang, S.Y., Lockley, M.G., Greben, R., Erickson, B.R., Lim, S.K., 1995. Flamingo and duck-like traces from the Late Cretaceous and early Tertiary: evidence and implications. Ichnos 4(1), 21–34.



La **Dra. Claudia Serrano Brañas** es egresada de la licenciatura en Biología de la Universidad Simón Bolívar. Estudió la Maestría en Ciencias y el Doctorado en Ciencias en el Instituto de Geología de la UNAM. Sus áreas de interés son la taxonomía y tafonomía de vertebrados, el registro fósil y la reconstrucción paleoambiental; particularmente se especializa en la taxonomía, la tafonomía y la paleoecología de las faunas de dinosaurios mexicanos, con énfasis en los procesos biológicos y geológicos que controlaron su preservación dentro del registro fósil. Actualmente se encuentra investigando los diferentes yacimientos de dinosaurios del Cretácico Superior de México. Ha participado en diferentes congresos nacionales e internacionales. Cuenta con 19 artículos publicados en revistas de arbitraje Nacional e Internacional y un capítulo de libro. Actualmente, se encuentra trabajando como investigadora asociada al Museo de Paleontología de la Benemérita Escuela Normal de Coahuila (BENC) y al departamento de Paleobiología del Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsonian, Washington D.C.



El **Dr. Francisco J. Vega** nació en la Ciudad de México en 1960. Estudió la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias, UNAM, en donde obtuvo el doctorado en Ciencias Biológicas en 1988. Ingresó como profesor de asignatura a la Facultad de Ciencias en 1985 y hasta la fecha imparte la asignatura de Biología de Animales I. Fue contratado como investigador en el Instituto de Geología, UNAM, en 1987. Sus principales líneas de investigación son la paleobiología de crustáceos, taxonomía de moluscos y el límite Cretácico/Paleógeno. Su colaboración internacional incluye EUA, Colombia, Brasil, Cuba, España, Marruecos, Irán, e India. Ha publicado más de 160 trabajos, un libro editado, varios capítulos en libro y ha impartido más de 200 conferencias de divulgación y en congresos. Actualmente es investigador nacional nivel III y editor en jefe del Journal of South American Earth Sciences y el Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.

# MISCELÁNEOS

## Ah Puch , Dios de la Muerte



Corresponde al cuarto lugar, por el orden de su representación, al **dios de la muerte**, que aparece 88 veces en los tres manuscritos. Tiene por cabeza una calavera, muestra las costillas desnudas y proyecciones de la columna vertebral; si su cuerpo está cubierto de carne, ésta se ve hinchada y cubierta de círculos negros que sugieren la descomposición. Accesorios imprescindibles del vestido del dios de la muerte son sus ornamentos en forma de cascabeles. Estos aparecen algunas veces atados a sus cabellos o a fajas que le ciñen los antebrazos y piernas, pero más a menudo están prendidos de un collar en forma de golilla. Estos cascabeles de todos tamaños, hechos de cobre y a veces de oro, se encontraron en considerables cantidades durante el dragado del Pozo de los sacrificios de Chichén Itzá, se supone que en el lugar donde habían sido arrojados con las víctimas inmoladas. Ah Puch, la antítesis de Itzamná, tiene como él dos jeroglíficos de su nombre, y es, después de éste, la única deidad que se distingue de esta manera. El primero representa la cabeza de un cadáver con los ojos cerrados por la muerte, el segundo la cabeza del dios mismo, con la nariz truncada, mandíbulas descarnadas y como prefijo un cuchillo de pedernal para los sacrificios. Un signo que se encuentra asociado frecuentemente al dios de la muerte es algo parecido a nuestro signo de tanto por ciento %. El dios de la muerte era la deidad patrona del día Cimí, que significa "muerte" en maya. En el caso de Ah Puch, estamos frente a una deidad de primera clase, como lo prueba la frecuencia de sus representaciones en los códices. Como jefe de los demonios, Hunhau reinaba sobre el más bajo de los nueve mundos subterráneos de los mayas, y todavía hoy creen los mayas modernos que bajo la figura de Yum Cimil, el Señor de la Muerte, merodea en torno a las habitaciones de los enfermos en acecho de su presa.

# Museo DITSONG de Ciencias Naturales: Sudáfrica

**Haz click en la imagen**



# La casa de los Tsunamis

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

<https://www.usgs.gov/faqs/what-are-tsunamis>

<https://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/tsunami/que-es-un-tsunami/>

[http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=1004&Itemid=1004](http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=category&id=1004&Itemid=1004)

<https://www.ready.gov/tsunamis>

<https://oceanservice.noaa.gov/facts/tsunami.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=Z-2khcTHIgs&t=472s>



## 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.

**Domo:** Una estructura de levantamiento o anticlinal, ya sea de contorno circular o elíptico, en la que las rocas se sumergen suavemente en todas las direcciones.

**Cap rock:** Roca impermeable con contenido de anhidrita y yeso, calcita y azufre que recubre el tope de sal/cúpula de sal.

**Fallas conjugadas:** Las fallas que son de la misma edad y fase de deformación.

**Crenulación:** Deformación de una superficie de estratificación o de esquistosidad por micropliegues apretados, paralelos entre si, y frecuentemente agudos.

**Brecha de aplastamiento o brecha cataclástica:** Una brecha formada por la fragmentación mecánica de las rocas durante los movimientos de la corteza. Es una brecha tectónica asociada a los movimientos de plegamiento o fallamiento.

**Decollement:** Los decollements son una estructura deformacional, lo que resulta en estilos independientes de deformación en las rocas por encima y por debajo de la falla.

**Decollement fold:** Son pliegues de los decollement en donde ya son independientes del bazamento

**Fallas en échelon:** son aquellas fallas en las que ocurren un salto en el plano de falla.

**Estrias de falla:** son estructuras zonas de crecimiento de minerales dentro del plano de falla que se forman en dirección paralela al movimiento de la falla.

**Harina de falla:** Roca molida hasta alcanzar un tamaño de grano uniforme fino igual al de las arcillas y limon

Davis, G. H., Reynolds, S. J., & Kluth, C. (2012). Structural geology of rocks and regions. Hoboken: Wiley.

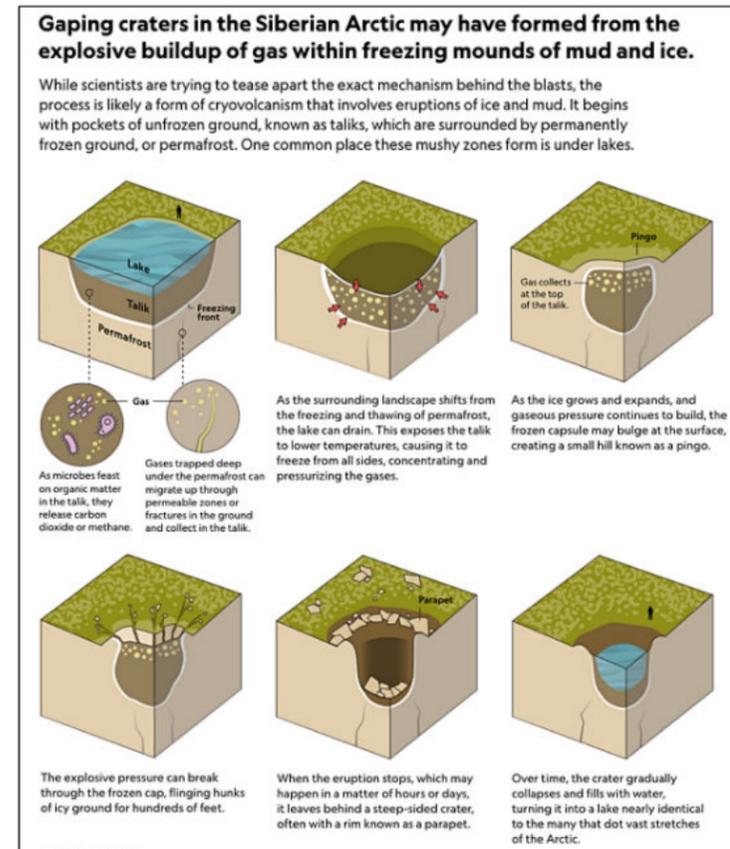


## El misterio de los cráteres explosivos de Siberia

<https://www.bbc.com/future/article/20201130-climate-change-the-mystery-of-siberias-explosive-craters>



<https://www.nationalgeographic.com/science/article/colossal-crater-found-Siberia-what-made-it>



Compilado por Nimio Tristán,  
Geólogo,  
Houston, Texas

## Tesis selectas presentadas en el Instituto Politécnico Nacional en 2020

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

**Cortes Uscanga, Karen Guadalupe; Franco Hernández, Luis Roberto; Hernández Carrillo, Isis Alejandra**

Sismogramas sintéticos y evaluación petrosísmica 3D de los pozos Agate-H6, Cooper-6, Diamond-14 del campo Cloudspin.

**Espinoza Peña, Eddy Ramiro; Pérez Alejo, Félix Eduardo; Alvarado Hernández, Margarita; Moran Camero, María del Pilar**

Saturación y evaluación petrosísmica de los pozos Amethyst-3, Cobalt-B2, Halite-A5 y del cubo sísmico del campo Cloudspin.

**Castillo Tello, Jesús Cristóbal; Lee Castro, Rosa Verónica; Sánchez Sánchez, Paloma Tonally; Ochoa Guerrero, Karen Mineli**

Estratigrafía sísmica y evaluación petrosísmica de los pozos: Albite-F1, Citrine-1 y Gypsum-A6 en el campo Cloudspin.

**Farfán Hernández, Eduardo Kalid; Soto Trejo, Erick; Valderrábano Ortiz, Susana Zureyma**

Volúmenes originales y evaluación petrosísmica 3D de los pozos Beryl-B4, Feldspar-A8 y Talc-A1 en el campo Cloudspin.

**Castillo Pérez, María de los Angeles; Meraz Balcazar, Víctor Fernando; Pérez Colín, Juan Martín; Sánchez Ramírez, Margarita; León Urbano, José Luis**

Zonas de paga y evaluación petrosísmica 3D de los pozos Agate H6, Chalcopryite B3 y Garnet 4, en el campo Cloudspin.

**Díaz Escobar, Mariela; Hernández Hernández, Beatriz Cecilia; Ramón Morales, Luis Gregorio; González Hernández, Mariana; Morales Murguía, Tania América**

Análisis de facies sísmicas y evaluación petrosísmica 3D de los pozos Agate-H6, Apatite-E13, Calcite-32, Fluorite-A7 y Jade-A4 del campo Cloudspin.

**Allende Salazar, Denisse Andrea; Linares Meléndez, Erick Arturo; Daniel Barrera, Edwin Pochini; Domínguez Molina, Reyna Guadalupe; Alvarado Rivera, Susana**

Sistema de información geográfica para el análisis de peligro por inundación en las Alcaldías Iztapalapa y Tláhuac de la Ciudad de México.

**Rojas Alpírez, Brian Issei**

Estimación del volumen original de hidrocarburos mediante el modelado en 3D de propiedades petrofísicas para el Cretácico en un campo de la provincia geológica Pilar Reforma-Akal.

**Pérez Gámez, Luis Eduardo**

Factibilidad hidrogeológica para perforar un pozo en Santa María Asunción, Hidalgo.

**Arriaga Durán, Antonia de los Ángeles**

Identificar patrones de precipitación en la CDMX en periodos de lluvia o sequía, asociados con los índices de los fenómenos ENSO, AMO, NAO y PDO en los años de 1951 al 2007.

**Martínez Espinosa, José Antonio**

Estudio de resistividad y polarización inducida en la asignación minera artesillas.

**Ramírez Hernández, Lucio Nicandro**

Inversión sísmica post-apilado como validación de la caracterización estática de un yacimiento.

**González Ramírez, Zianya Xarény**

Modelos constitutivos para simular el comportamiento de las propiedades dinámicas de arenas carbonatadas de la sonda de Campeche y Litoral Tabasco.

**Reyes Talonia, Juan Alberto**

Análisis de sensibilidad al modelo unificado de propiedades físicas con registros geofísicos para formaciones arenarcillosas en yacimientos de aguas profundas.

**Libreros Morales, Julio César**

Caracterización y modelación del tsunami ocurrido el 22 de Junio de 1932 en Cuyutlán, Colima originado por un sismo tsunamigénico de magnitud 7.8.

**Barrera González, Carlos Iván**

Modelo petrofísico aplicado a la Formación Chicontepec para un campo de la Cuenca Tampico-Misantla.

## FOTOGRAFÍA DEL RECUERDO



Asistentes (Instituto de Geología UNAM, PEMEX y otros) a la excursión geológica a el Cañón de la Peregrina, Edo. Tamaulipas, Mex., en marzo de 1962. De pie y de izquierda a derecha: Ralph Miller (USGS), Diego A. Córdoba, Amado Yáñez-Correa, L. Limón, Odilón Ledesma-Guerrero, Guillermo P. Salas (Director del Instituto de Geología, UNAM), José Carrillo Bravo (Guía de la excursión, PEMEX), Carl Fries Jr., Eduardo Schmitter-Villada, Gonzalo Ávila de Santiago (tesista), Alberto RV Arellano y José C. (de Bolivia). En cuclillas o sentados, de Izq. a Der. : Héctor Ochoterena, Salvador Enciso de la Vega, Zoltan de Cserna, Gloria Alencaster, César Rincón Orta y Federico Mayer-Pérez Rul. (Foto proporcionada por el Dr. Zoltan de Cserna).

### FUENTE:

Facebook

Jorge Rodríguez *in* Geology WORLD.

31 de diciembre de 2021

(Con algunas adecuaciones por AGR).



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.



## About ICE

The American Association of Petroleum Geologists (AAPG), in conjunction with the Colombian Association of Petroleum Geologists and Geophysicists (ACGGP), is proud to host the 2022 International Conference and Exhibition (ICE) in **Cartagena, Colombia on 19–22 April 2022**.

Following great success in Buenos Aires, Argentina in 2019, ICE returns to the Latin America and Caribbean Region to showcase high-quality geoscience data, technology, research, and innovation.

If you want to be a leader and stay relevant in this constantly evolving industry, you need access to the tools, content and contacts that will help you succeed. ICE continually gathers a truly global audience of energy professionals who exchange knowledge, solutions and strategies for success during transitional times. With so many changes in recent years, ICE is more relevant now more than ever before. By participating in and supporting ICE, you'll hear first-hand from decision makers and thought leaders and will access some of the most credible geoscience information available.

Plan now to attend the most important geoscience knowledge exchange of the year!

<https://cartagena2022.iceevent.org/>

# Bienvenidos a Cartagena

Vendedora de frutas, Cartagena, Colombia. Foto de Claudio Bartolini



# Caverna del arte

## La ñ y el Castellano en América

La savia, de mi lengua es corazón,  
En Iberia latina, de buen cuño,  
Ya en el tiempo devino sueño, canción,  
Y España, tiempo ha, levanta puño.

A mí la "ñ" otorgó un blasón,  
Canción y abolengo a Modugno,  
Además de saber y arte, ilusión,  
Y me signó por familia Ortuño.

Allá, de remotos tiempos distantes,  
Del latín el castellano se aroma,  
Y en México, fonemas consonantes.

De Séneca, rapsodas y cantantes,  
Desde Virgilio y Horacio en Roma,  
A Darío y Neruda, fascinantes.  
Salvador Ortuño A.

## Vivir, en el río del tiempo

Mi pensamiento es líquido espejo  
Río que fluye en la noche lunar  
Vuela su río en el bosque, va lejos  
Arrastra, entre las hojas, su cantar.

En cantos de arpegios, como un viaje  
Cual río de la vida es mi andar  
Río es la vida, vórtice, paisaje  
De llantos o remansos sin parar.

Son un río mi vida y mi pensar  
Estelado de imágenes mi espejo  
Así se va la vida, el río al mar.

Donde tendrá reposo el navegar  
Y en profundidad insondable dejo  
Mi alma, tiempo y anhelo reposar.  
Salvador Ortuño A.



Infinito mar  
Salvador Ortuño Arzate

**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

**¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?**

ENVÍANOS UN CORREO A:

[luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com); [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)