

**ENERO
2025**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



ENERO
2025



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

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

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

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

Portada de la revista: Imagen compuesta: Olympic National Park, Washington State, y desierto de Arizona, USA. Imagen de **Claudio Bartolini**.

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

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

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

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

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

Revista de difusión y
divulgación geocientífica.

EDITORES



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

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

luis.valencia.11@outlook.com



Bernardo García-Amador obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM en 2024. Su geo-pasión es entender la evolución tectónica de Centroamérica, así como del sur y este de México antes, durante y posterior a la fragmentación de Pangea. Además imparte el curso de tectónica en la Facultad de Ingeniería

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

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu



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

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

jhrosenfeld@gmail.com



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

Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

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

bartolini.claudio@gmail.com

COLABORADORES



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



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



José Antonio Rodríguez Arteaga es Ingeniero geólogo, egresado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, con más de 30 años de experiencia. En sus inicios profesionales laboró como geólogo de campo por 5 años consecutivos en prospección de yacimientos minerales no-metálicos de la región Centro-Occidental de Venezuela. Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en

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

geodoxo@gmail.com

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

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

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

rodriguez.arteaga@gmail.com



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

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

ensilvacruz@gmail.com



María Guadalupe Cordero Palacios es candidata para obtener el grado de maestra en ingeniería por la UNAM, geocientífica entusiasta por la divulgación en México. Se ha desempeñado como geocientífica en el área de exploración de recursos naturales en las empresas Fresnillo PLC, SGM y ha colaborado

con la Universidad Complutense de Madrid. Su principal gusto en las geociencias se centra en la geología estructural.

lup@comunidad.unam.mx



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



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

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

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

tenreyro2015@gmail.com



Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

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

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

gleon.laura@gmail.com



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

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

r.avalos@astrocamp.mx



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

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



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

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

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

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

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

norma.olvera@atmosfera.unam.mx



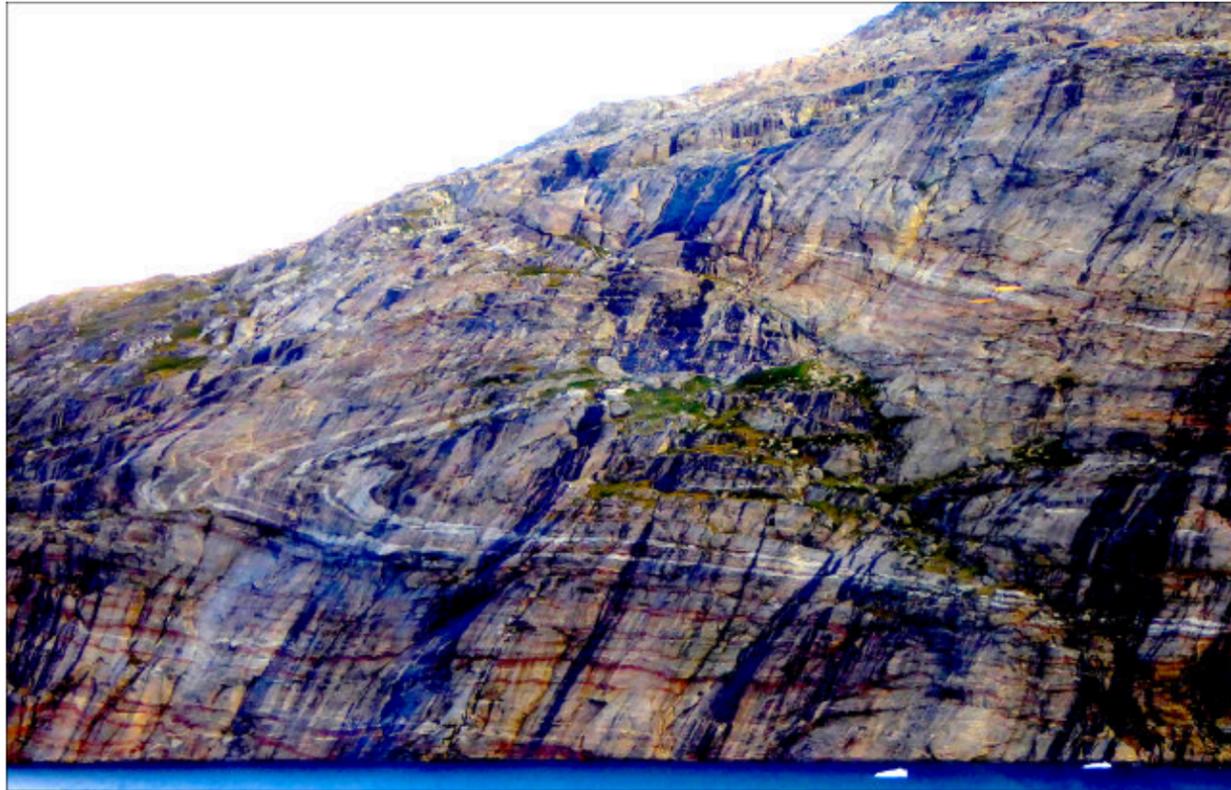
Tertiary mylonites, Catalinas metamorphic core complex, Tucson, Arizona. Photo by Claudio Bartolini.

Estimados Colegas

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

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

*Nuestro agradecimiento a **Manuel Arribas**, 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/>*



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

Esteemed colleagues

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

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

Basic Instructions for Authors

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

(biographical sketches): a maximum of 3 pages

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

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

Geological notes: a maximum of 10 pages

Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

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

Estimados colegas,

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

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



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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

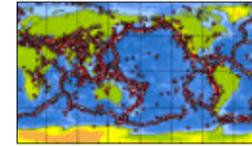


Aplicaciones gratuitas en:

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

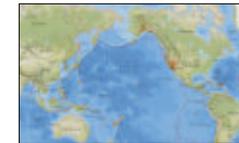
1. **SURFER v.12 y v.13** (versión demo): Programa de modelamiento en 3D.
2. **STEREONET 9** (versión gratuita): Programa de análisis estereográfico de discontinuidades.
3. **DAPPLE v.2.1.4** (versión gratuita): Programa de visualización de geoimágenes espaciales, kmz y mapas.
4. **GRASS GIS** (versión gratuita): Programa de gestión de datos, procesamiento de imágenes, producción de gráficos, modelamiento espacial y visualización.
5. **ARCGIS v.10.2.2** (versión de prueba): Programa de generación de mapas, visualización de geoimágenes y análisis de información.
6. **GLOBAL EARTHQUAKE EXPLORER v.2.2.0** (versión gratuita): Programa de educación y localización de epicentros sísmicos con visualización en mapas y análisis de datos.
7. **GOOGLE EARTH PRO** (versión completa): Programa interactivo de visualización de imágenes satelitales en 2D y 3D.
8. **ELK (SHARPGEO)-GEOTECHNICAL PLATFORM** (versión gratuita): Plataforma de análisis geotécnico con plugins gratuitos y de pago, para análisis de suelos y estructuras.
9. **GPLATES v1.4** (versión gratuita): Programa de visualización de dinámica tectónica, con reconstrucción de escenarios de placas tectónicas y localización espacial de los puntos de análisis.
10. **PREDICT 2D** (versión gratuita): Programa de generación de secciones 2D de secuencias sedimentarias.
11. **Numbat 3D** (versión gratuita): Programa de generación de modelos de facies basado en descripciones sedimentarias, utilizado para reservorios de petróleo.
12. **GEOTRIPLE FOR OIL & GAS EXPLORATION** (versión gratuita): Programa de plataforma de geociencias para exploración de gas y petróleo.
13. **OPENDTECT** (versión pagada): Programa de visualización y procesamiento de datos sísmológicos.
14. **GEOBLOCK** (versión gratuita): Programa de modelamiento en 2D/3D, con procesamiento de sondajes, puntos, polígonos, TIN, sólidos y mallas.
15. **EARTH'S CORE v.1.1** (versión gratuita): Programa de información de gemas, rocas y minerales. Cuenta con fotografías de detalle.
16. **GEOCALC v.4.20** (versión completa): Programa conversor de coordenadas.

EN ESTOS SITIOS PUEDES ENCONTRAR INFORMACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO.
Información compilada por el **Dr. Antonio Olaiz** (Repsol, Madrid).



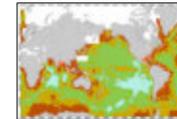
MECANISMOS FOCALES.

<https://www.globalcmt.org/>
<https://geofon.gfz-potsdam.de/old/eqinfo/list.php?mode=mt>



TERREMOTOS USGS.

<https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>



DATOS BATIMETRIA DE EUROPA DE ALTA RESOLUCIÓN.

<https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry>

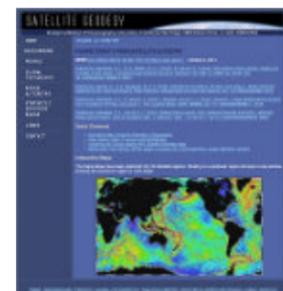


INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA TERRESTRE.

<https://ggos.org/item/bgi/>

Modelo digital del terreno a 30 metros para todo el mundo.

https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html

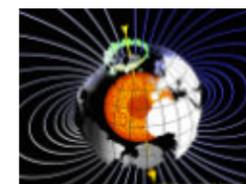


INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA MARINA.

https://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html

DEM SRTM

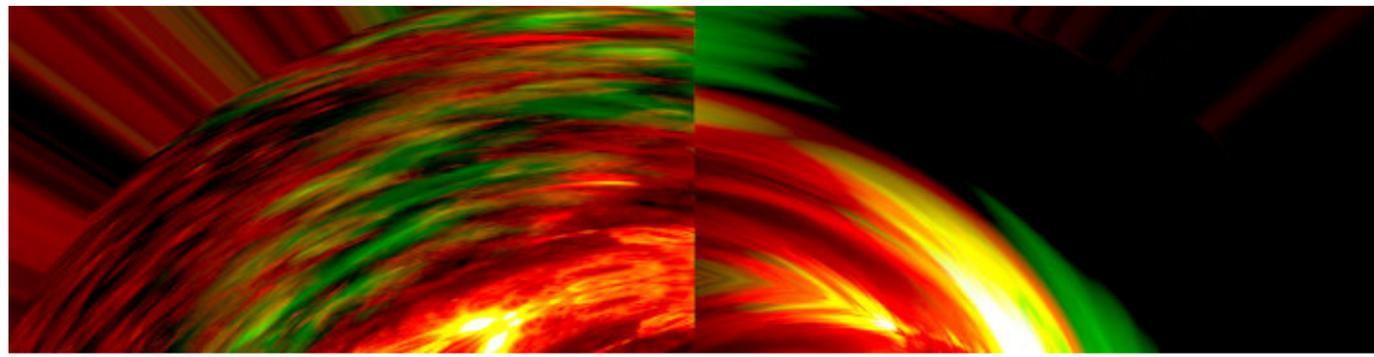
<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1#overview>



INFORMACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA.

<https://geomag.us/index.html>

<https://wdmam.org/>



ESTIMADOS LECTORES

Esperamos que todos ustedes estén disfrutando esta época Navideña junto a sus seres queridos.

El equipo de Colaboradores y Editores de la Revista Maya les desea un año nuevo 2025 lleno de Salud, Tranquilidad y que todos sus deseos sean cumplidos.

La Revista Maya de Geociencias se distribuye ya en cuarenta países y tiene más de siete mil lectores, lo cual es un gran orgullo para todos los que hace posible la existencia de esta revista internacional.

**Un saludo fraternal,
Equipo Revista Maya de Geociencias.**

ESTEEMED READERS

We hope that you are all enjoying this Holiday season together with your dear ones.

The team of collaborators and editors of the Revista Maya wishes that the New Year of 2025 is filled with good health and tranquility, and that all your wishes are fulfilled.

The Revista Maya de Geociencias is currently distributed in forty countries with over seven thousand readers, filling with pride everyone who makes the existence of this international magazine possible.

**A fraternal salute,
The Revista Maya de Geociencias Team**

CONTENIDO

ENERO 2025

Semblanzas.....	14
Miscelanea de imágenes.....	20
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	22
Los libros recomendados.....	34
Temas de interés.....	37
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	67
Notas geológicas.....	71
Misceláneos	
Museos de historia natural.....	108
Rinoceronte lanudo en permafrost Rusia.....	109
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	110
Glosario de términos geológicos.....	111
Venezuelan American Petroleum Association.....	112
Caverna del Arte.....	113
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	118
Parker Solar Probe NASA.....	119
La casa de las cavernas.....	120
Mysterious Zen stones.....	121
Asociaciones geológicas hermanas.....	122

SEMBLANZAS

Jesús F. de Albear y Fránquiz: 1906 - 2000

Jesús Francisco de Albear Fránquiz, nació en La Habana el 8 de mayo de 1908. Sus padres fueron Enrique de Albear Saint Just y María Luisa Fránquiz Alcázar. Jesús Francisco, por línea paterna, pertenecía a la casa de los condes de San Félix y vizcondes de Casa González,¹ era nieto del ilustre ingeniero coronel José Francisco de Albear y Fernández de Lara. Aspirar a la altura de la envergadura científica y técnica de su ilustre antecesor, pesó siempre mucho más que los blasones y la heráldica. En la Universidad de La Habana, se titula de doctor en Ciencias Físico-Químicas En 1937. Al año siguiente, se gradúa de doctor en Ciencias Físico-Matemáticas y de Ingeniero Civil. En sus sesenta años de fructífera labor, dedicado fundamentalmente al campo de la geología, se destacan indiscutibles y valiosos aportes a la ciencia. Además de las ciencias geológicas tuvo aportes significativos en hidrografía, geodesia e ingeniería geológica reflejados en más de un centenar de artículos científicos. Albear tuvo una destacada actividad como docente y representando a Cuba en varias instituciones científicas y proyectos internacionales.



Croquis Geológico de Cuba a escala 1:1 000 000 (Brodermann, 1946).

Luego de su graduación en 1938, comienza a laborar en el Buró de Montes, Minas y Agua como segundo jefe en Comisión del Mapa Geológico de Cuba. En muy poco tiempo la Comisión fue capaz de producir un croquis geológico de toda Cuba de excelente calidad. Durante la Segunda Guerra Mundial, Albear fue nominado geólogo en el programa del U.S. Geological Survey sobre minerales estratégicos. En el marco del mismo se estudian los distritos cromíferos de Camagüey, Mayarí-Moa-Baracoa y Matanzas, además del manganeso.² Desde 1953, participó en los estudios que condujeron al descubrimiento del yacimiento de petróleo en Jatibonico. Entre 1956 y 1957 colaboró con los doctores R. Hoffsteter y Pedro Bermúdez



en la confección del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. En febrero de 1962 se creó la Comisión Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, constituyéndose el Instituto de Geografía. Albear fue asesor científico del Departamento de Geología, simultaneando con su posición en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Se mantuvo en esta posición hasta mayo de 1970, sin dejar de realizar trabajos como investigador.³ Uno de sus primeros aportes al conocimiento geológico del país fue el mapa tectónico de la región del Caribe escala 1: 7 500 000 junto a Yuri M. Pushcharovskiy.⁴

En 1968, se efectuó en La Habana la reunión de los institutos geológicos de las Academias de Ciencias de todos los países socialistas de Europa. En la reunión se aprobó un proyecto de colaboración multilateral para completar el levantamiento geológico de toda la isla. En noviembre de 1969, comenzaron los trabajos de campo⁵ y Albear es miembro del Comité de Coordinación y Consulta del proyecto. En paralelo participa en la unificación y redacción del informe final.⁶ En el período de 1974-1977, formó la brigada cubana para el levantamiento geológico de las provincias La Habana y Ciudad de La Habana.⁷ En 1977, se entregó oficialmente, el mapa geológico de las provincias habaneras, con todos sus gráficos y la memoria descriptiva. En 1985 se publicó el libro "Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana".⁸ En el período de 1977-1983, Albear continuó desarrollando actividades investigativas, en estratigrafía,⁹ paleontología,¹⁰ tectónica¹¹ y otras,¹² así como estudios de teledetección de imágenes satelitales.¹³ Colaboró con la brigada polaco-cubana en el levantamiento geológico de la provincia de Matanzas en el período 1977-1982.¹⁴

En abril de 1983 se publicó el Anteproyecto del Código Estratigráfico de Cuba, instrumento indispensable en la unificación del léxico. En el período de 1983-1985 Albear participó en el marco del Léxico Estratigráfico de Cuba, donde actuó responsable del Paleógeno, pasando a responsable del Grupo Cretácico hasta finales de 1985. En 1987 concluye la primera variante del Léxico Estratigráfico de Cuba. Albear participó como asesor y es parte del colectivo de autores.¹⁵ A partir de 1980, Albear fue miembro del Consejo de Dirección y del Consejo de Expertos en las Comisiones de Geología, Geofísica y Carsología del Nuevo Atlas Nacional de Cuba en el Instituto de Geografía, hasta su culminación y publicación en 1989. Desde 1986 emprendió un significativo esfuerzo por esbozar los principales hitos históricos en el estudio de los recursos minerales y las ciencias geológicas.¹⁶

En 1987 colaboró en los trabajos y recorridos del grupo de generalización del Proyecto de Levantamiento geológico en Pinar del Río, así como también en trabajos similares por las regiones de la Isla de la Juventud. Durante los años 1987 y 1988 trabajó como geólogo consultante y colaborador en el proyecto del Metro, para el cual se realizaron varias investigaciones y perforaciones exploratorias en varios lugares de la Ciudad de La Habana. En 1988 participa en el Programa Intercosmos en asesorías y colaboración en algunas interpretaciones regionales cósmicas, así como en la localización y características de fuentes y manantiales de aguas minero-medicinales en Cuba. En 1988 participó en el programa Internacional "Corteza terrestre y su metalogenia". Entre los años 1989-1990, realizó recorridos de campo y continuó los estudios de afloramientos de la formación Capdevila. Albear publicó su último trabajo sobre la Formación Güines en 1992.¹⁷ Trabajo hasta su deceso en asesoramiento y consultoría en el Instituto de Geología y Paleontología.

El ingeniero Albear fue designado en 1947 jefe de la comisión de Geodesia de Cuba¹⁸ y participó como oficial cubano del Programa Geodésico-cartográfico de las Américas. A partir de 1948, participó en la fundación del Instituto Cartográfico Nacional del que fue nombrado director, más tarde, Instituto Cubano de Cartografía y Catastro, donde ocupó diversas responsabilidades administrativas y profesionales.¹⁹ En 1955 fue designado asesor cartográfico técnico de la Junta Nacional de Planificación y representante cubano en la Comisión de Geografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

En 1959, trabaja como ingeniero geólogo en la Comisión de Fomento Nacional en la sección de investigaciones hidrológicas, en el proyecto holandés NEDECO para la desecación y el saneamiento de la Ciénaga de Zapata. Después de 1960 pasó a dirigir el Departamento de Recursos Hidráulicos en el Ministerio de la Construcción, participando en importantes investigaciones hidrológicas e hidráulicas para el cierre de las presas Minerva, Melones

y el Mate, así como el estudio de fuentes de abasto de agua para distintas localidades. Durante ese tiempo estudió la problemática del agua y se creó la Comisión Técnica de Agua, integrada por especialistas del Instituto Nacional de Reforma Agraria y del Ministerio de la Construcción. El ingeniero Jesús Francisco de Albear fue en 1962 subdirector del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). La institución diseñó la primera estrategia hidráulica nacional e inició un ambicioso programa de construcciones de embalses y grandes obras hidráulicas.²⁰ Estuvo vinculado con los especialistas búlgaros en trabajos de hidrogeología y con el checo Jaroslav Hylsky en investigaciones sobre las condiciones tectónico-estructurales de Cuba,²¹ así como otros trabajos geológicos en distintas bahías como la del Mariel, Matanzas, Cochinos, Cienfuegos, Nuevitas, Santiago de Cuba y Nipe.²²

En diciembre de 1965 el Rector de la Universidad de Oriente Dr. Eduardo Muzio le solicita ser director de la Escuela de Geología de Santiago de Cuba. Albear asume la Dirección de la Escuela, sin abandonar sus responsabilidades en la Academia de Ciencias y en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Integran el claustro de profesores especialistas soviéticos y checoslovacos, lográndose estabilizar la escuela de geología. Albear está al frente de la carrera hasta febrero de 1967.

Desde 1956, cuando es el organizador del Comité Cubano Pro-Año Geofísico Internacional, Albear tuvo una intensa labor en proyectos e instituciones internacionales. En 1972 es participante en el Proyecto Geodinámica del ICSU²³ y en la Comisión del Mapa Geológico del Mundo.²⁴ En junio de 1977, fue miembro de los consejos científicos del Comité Estatal de Ciencia y Técnica y de la Comisión Nacional de Defensa del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. En noviembre de 1977 fue nombrado miembro del Comité Cubano de Geodinámica, de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Editor jefe de la revista "Ciencias de la Tierra y el Espacio". Desde junio de 1978 fue miembro del Consejo Científico Superior de la Academia de Ciencias y formó parte del Consejo Técnico Asesor del proyecto de desarrollo de la Isla de la Juventud. Secretario del Tribunal de categorías científicas de la Academia de Ciencias en la sección "Ciencias de la Tierra y el Espacio". En agosto de 1982 fue miembro de la Comisión cubana del proceso geosinclinal y la formación de la corteza terrestre. Entre 1987 y 1988 participó en importantes eventos como la Reunión Geológica Internacional PICS del área del Caribe. Durante junio de 1991 y a petición expresa de la Unión Internacional de Geología, formó parte del grupo acompañante en los estudios y recorridos que dicha asociación realizó en parte del territorio cubano.²⁵

En 1951 ocupó distintos cargos en las directivas del Colegio de Ingenieros Civiles de Cuba y de la Sociedad Cubana de Ingenieros. En 1954, fue electo presidente del

Colegio de Ingenieros Civiles. En 1979 se creó la Sociedad Cubana de Geología de la que fue Miembro fundador. En la asamblea de constitución fue electo Vicepresidente Primero. En diciembre de 1995, la SCG lo nombró Presidente Honorario. En enero de 1982 fue nombrado Socio de Mérito de la Sociedad Espeleológica de Cuba.

El ingeniero Jesús Francisco de Albear Fránquiz falleció el 27 de septiembre del año 2000. La Sociedad Cubana de Geología, en el 2008, en el año de su centenario, instituyó el premio "Jesús Francisco de Albear Fránquiz" a la obra de la vida.

¹Francisco Xavier de Santa Cruz y Mallen, 1943. Historia de Familias Cubana. Tomo Quinto, La Habana: Editorial Hércules.

²Albear, J.F., 1947. Stratigraphic paleontology of Camagüey district, Cuba. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 31 (1): 71-91. Map.; Calvache A., Albear J. 1948. Informe de la delegación de Cuba sobre la exposición y Congreso Internacional del Petróleo, Celebrado en la ciudad de Tulsa, Oklahoma, Estados Unidos de América 1948 Rev. de la Soc. Cubana de Ingenieros. 1948. Vol: 46. Num: 10. Pag: 603-624; Flint, D.E., Albear, J., y Guild, P.W., 1948. Geology and chromite deposits of Camagüey district, Camagüey province, Cuba. United States Geological Survey Bulletin, 954-B, pág. 39-63. Albear J., Kravchenko G., Vázquez O. 1975. Posición estructural de la mineralización Cromítica de Cuba 1975. Pag: 15

³Albear J., et al. 1968. Las Formaciones Geológicas y su Importancia en la solución de algunos problemas geológicos Serie Geológica. Num: 2 Pag: 1-16; Albear J., 1975. Notas Geológicas preliminares sobre la Región de la Cuenca del Indio, Fondo de Banoa, Sierra de Cubitas, Camagüey, Cuba 1975. Pag: 6; Albear, J.F., 1967. Reconocimiento geológico preliminar de la región meridional de Isla de Pinos. Academia de Ciencias de Cuba. Serie Isla de Pinos, 17: 1-25.

⁴Puscharovski Y., Albear J. 1970. Mapa Tectónico de la región del Caribe. Escala 1:7 500 000. Pag: 14; Puscharovski Y., Albear J. 1974. Mapa tectónico de la región del Caribe: (Escala 1:750 000). En: Instituto de Geología Y Paleontología. Contribución a la Geología de Cuba. La Habana. P. [9]-13 (Publicación Especial 2)

⁵Albear, J.F., 1976. Reconocimientos y trabajos geológicos de campo en las regiones limítrofes Habana-Matanzas (años 1969-1970 y 1974-1976). Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana (Inédito).; 1969 Albear J., Muñoz M. Geología del área Norte de Jaruco, Provincia de la Habana 1969. Pag: 48; Albear, J., Nuez, M. 1969. Breve reconocimiento geológico de las zonas adyacentes al Central P. Noriega en el Municipio de Quivicán, Provincia Habana 1969. Pag: 10

⁶Albear J., Pszczolkowski A. 1980. Coordinaciones de los mapas geológicos limítrofes a Escala 1:250 000 de la Provincia de Pinar del Río y La Habana 1980. Pag: 17

⁷Albear J., Torre A., Fuentes C. 1979, Breve nota sobre la furnia del Reparto Adelaida, Rancho Boyeros, Provincia de Ciudad Habana. Pag: 4

⁸Albear J., Iturralde-Vinent M. 1985. Estratigrafía de las provincias de La Habana. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. La Habana: Editorial Científico-Técnica, P. 12-54; Albear J., Iturralde-Vinent M. 1985. Pisos estructurales en el territorio de las provincias de La Habana. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. La Habana: Editorial Científico-Técnica. P. 77-86; 1985 Albear, J.F. de, e Iturralde-Vinent, M., 1985. Estratigrafía de las provincias de La Habana. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. La Habana: Editorial Científico-Técnica, pág. 12-54.; Albear, J.F., e Iturralde-Vinent, M., 1985. Posición tectónica del complejo gabro-periodístico de las provincias de la Habana. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. La Habana: Editorial Científico-Técnica, pág. 87-93.; Albear, J.F. e Iturralde-Vinent, M., 1985. Zonación estructuro-facial de las provincias de la Habana. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. La Habana: Editorial Científico-Técnica, pág. 68-76.; Albear, J.F. de, Iturralde-Vinent, M., y Sánchez-Arango, J.R., 1985. Formación Rosario: redescipción y estudio micropaleontológico. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. La Habana: Editorial Científico-Técnica, pág. 59-67

⁹Pszczolkowski, A., y Albear, J., 1982. Subzona estructuro-facial de Bahía Honda, Pinar del Río; su tectónica y datos sobre la sedimentación y paleogeografía del Cretácico Superior al Paleógeno. Revista de Ciencias de la Tierra y el Espacio, 5: 3-24.; Pszczolkowski, A., y Albear, J., 1983. La secuencia vulcanógeno-sedimentaria de la Sierra del Rosario. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 6: 42-52.

¹⁰Torre A., Jakus P., Albear J. 1978 Nuevos Datos Sobre las Asociaciones de Rudistas en Cuba Geologie en Mijnbouw. 1978. Vol: 57. Num: 2. Pag: 143-150; Torre y Callejas, A., Jakus, P., y Albear, J., 1983. Nuevos datos sobre las asociaciones de rudistas en Cuba. En: Contribución a la Geología de Cuba Oriental. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pág. 206-216.

¹¹Mossakovski, A., y Albear, J., 1979. Estructuras de cabalgamiento de Cuba occidental y Norte e historia de su formación a la luz del estudio de los olistostromas y las molasas. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 1: 3-32.

¹²Albear J. 1980. Información geológica general para el Instituto de Botánica de Cuba Sobre áreas determinadas en las hojas 1:50 000 Abreu, 4082-I y Limonar, 3984-IV. Pag: 4; Albear J. 1980. Información geológica general sobre áreas determinadas en las Hojas: Matanzas, 3885-II, Tetas de Camarioca, Varadero 3985-III, y Embalse de Agabama, 4282-IV. Pag: 5; Albear J., Flores R. 1985. Estudio tectónico estratigráfico de las secuencias caóticas de Cuba. Pag: 120

¹³Vishnevskaya S., Chejovich V., Albear J. 1982. Comunicaciones breves Edad y Condiciones de Formación de las silicitas de la zona de Camajuani. Ciencias de la Tierra y el Espacio. Num: 5. Pag: 113-116

¹⁴Torre, A. Jakus P., Albear J. 1977. Nuevos datos sobre las asociaciones de rudistas de Cuba. Pag: 12; Albear J.; Piotrowski J. 1984. El enclave yesífero de San Adrián, Cuba. Observaciones sobre su evolución geólogo-Tectónica Ciencias de la Tierra y el Espacio. 1984. Num: 9. Pag: 17-30; Albear, J.F. y Myczyński, R., 1984. Ammonites en el conglomerado Río Piedras, Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 9: 117-123.; Piotrowski J., Albear J. 1986. La evolución geológica de la secuencia evaporativa en la provincia de Matanzas, Cuba. Bulletin of the Polish Academie Of Sciences. Vol: 34. Num: 1 Pag: 37-47; Piotrowski, J., y Albear, J., 1986. La evolución geológica de la secuencia evaporativa en la provincia de Matanzas, Cuba. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Science, 34 (1).

¹⁵Franco-Álvarez, G.L., Acevedo-González, M., Álvarez-Sánchez, H., Artime-Peñeñori, C., Barriento-Duarte, A., Blanco-Bustamante, S., Cabrera, M., Cabrera, R., Carassou-Aragan, G., Cobiella-Reguera, J.L., Coutin-Lambert, R., Albear, J., de Huelbes, J., Torre y Callejas, A.,

Delgado-Damas, R., Díaz de Villalvilla, L., Díaz-Otero, C., Dilla-Alfonso, M., Echevarría-Hernández, B., Fernández-Carmona, J., Fernández-Rodríguez, G., Flores-García, R., Florez-Abín, E., Fonseca, E., Furrázola-Bermúdez, G., García-Delgado, D., Gil-González, S., Gonzalez-García, R.A., Gutiérrez-Domech, R., Linares-Cala, E., Millán-García, E., Millán-Trujillo, G., Moncada-Ferrera, M., Montero-Zamora, L., Orbera, L., Ortega-Sastriques, F., Peñalver, L.L., Perera, C., Pérez-Arias, J.R., Pérez-Lazo, J., Pérez-Rodríguez, E., Piñeiro-Pérez, E., Recio-Herrera, A.M., Sánchez-Arango, J.R., Saunders-Pérez, E., Segura-Soto, R., Triff-Oquendo, J., Zuazo-Alonso, A., Pszczolkowski, A., Brezsnýánszky, K., Slavov, I., y Myczyński, R., 1992. Léxico Estratigráfico de Cuba. Centro de Nacional de Información Geológica, La Habana, 658 pág.1990

¹⁶Albear J. y Echevarría G. 1983 Resumen de la actividad geológica y minera en Cuba antes y después del triunfo de la Revolución Boletín de la Soc. Cubana De Geología. 1983. Vol: 1. Num: 1. Pag: 22-75; Echevarría G. y J.F. de Albear, 1985. Actividad geológica y minera antes y después del triunfo de la Revolución (Segunda Parte). Boletín Sociedad Cubana de Geología Vol. II (I) :22-52.

¹⁷Albear, J.F., Torre y Callejas, A., Carassou, G., y Pérez, E., 1992. Nuevos datos sobre la Formación Güines del Mioceno de Cuba occidental. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 20: 16-29.

¹⁸Albear J. 1947. Proyecto de Planificación Topográfica de Cuba. Primera Etapa del plano geodésico y catastral Rev. de la Soc. Cubana de Ingenieros. 1947. Vol: 44. Num: 1 Ext. Pag: 221-258; Albear J. 1951 Cartografía en Cuba. Narración de lo antiguo y lo moderno Rev. de la Soc. Cub. de Ingenieros. Vol: 50. Num: 9. Pag: 419-447

¹⁹Albear J. 1952. Datos Técnicos del mapa geodésico de Cuba Rev. de la Soc. Cubana de Ingenieros. 1952. Vol: 52. Num: 1 Ext Pag: 63-96

Albear J., Lavín E. 1965. Algunas observaciones sobre las posibilidades de recursos hidroeléctricos y sobre electrificación rural. Pag: 11;

²⁰Albear J., Hylsky J. 1968. Posibilidades de embalses de agua en la región de Pilón. Oriente. Pag: 13

²¹Hylsky J., Albear J. 1969 Informe preliminar sobre posibilidades hidráulicas para el plan especial Cacao, en parte de la región Jaruco-Canasi, Provincia La Habana. 1969; Hylsky J., Albear J. 1970. Informe preliminar sobre las posibilidades de la construcción de embalses en la zona del Valle de Yumurí Pag: 81; 1970 Albear J., Hylsky J. 1970. Las condiciones tectónicas-estructurales en Cuba 1970. Pag: 41

²²Núñez Jiménez, A., Stelcl, V.O., Panos, V., y Albear, J., 1970. La llanura costera occidental de Pinar del Río. Serie Espeleológica y Carsológica, 19.; Albear J. 1971. Las condiciones geológicas-estructurales en cinco bahías de Cuba: Mariel, Cienfuegos, Nuevitas, Santiago y Nipe 1971. Pag: 11. Albear J., Guetchev P., 1971. Estudios iniciales sobre la posibilidad de transformar la Laguna de la Leche, Morón, Provincia de Camagüey, en un embalse natural de agua dulce. Pag: 21; Millán G., Albear J. 1970 Reconocimiento geológico de la región del Valle de Yumurí, Matanzas. Pag: 49; Albear J. 1974. Observaciones sobre condiciones ingeniero-geológicas generales de localidades seleccionadas en las proximidades de las bahías de Matanzas, Cochinos, Cienfuegos y Nipe. Pag: 17; Formell F., Albear J. 1979 Deslizamiento de tierra en el Mariel 1979. Pag: 12

²³Albear J. 1972 El Proyecto de geodinámica del Consejo Internacional de Uniones Científicas, I.C.S.U., Informe al Cuarto Consejo Científico del Instituto de Geología 1972. Pag: 12

²⁴Albear J. 1972. Informe general sobre las actividades de la Comisión del Mapa Geológico del Mundo. C.N.G.M. 1972. País: Cub

²⁵Flores-García, R., y Albear, J.F. 1987. Movimientos tectónicos y formación de olistostromas en Pinar del Río (Cuba Occidental). Boletín de Geociencias, 2 (1): 84-92.; Flores R., Albear J. 1989 Cuba: Formación de olistostromas en un ambiente de colisión arco insular-margen continental. En: Congreso Cubano de Geología (1.: 1989: La Habana). Primer Congreso Cubano De Geología. Simposio Sobre La Geología Del Caribe Occidental. Reunión De Los Proyectos 165, 242, 262 del PIGC La Habana: [S.N.], 1989. P. 103



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

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

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

tenreyro2015@gmail.com

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 trabajo 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>

Miscelánea de Imágenes

Cofre de Perote, la octava cumbre más alta de México. Con más de 4, 200 metros de altura, el Cofre de Perote es un volcán apagado ubicado en el estado de Veracruz.

De acuerdo con los expertos, el Cofre de Perote es un volcán extinto que se originó hace 20 millones de años, en el periodo conocido como Mioceno. Asimismo, se encuentra ubicado en el estado de Veracruz, entre el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental; y tiene una altitud de 4282 metros sobre el nivel del mar; convirtiéndose en la octava cima más alta de México.

Por la silueta rectangular de su cima se le denominó en el pasado Naucampatepetl, Cerro que tiene cuatro lados. También se sugiere Nappatecutli, Señor de las cuatro direcciones, como una advocación de Tláloc. De igual forma Naupatecutepetl, Cuatro veces señor. Para otros, es Tepetlacali, como la olla que resguarda los tesoros. El actual nombre de Perote lo toma de la población al somonte, que responde al aumentativo en castellano de Pedro. En 1527 Pedro Anzures, a quien por alto y grueso llamaban Pedrote, fundó el mesón de San Carlos en la antigua aldea indígena de Pinahuizapan, el poblado creció a su alrededor y tomó su nombre, la corrupción del vocablo resultó en el actual Perote. Se dice que este antiguo volcán fue admirado por el célebre explorador Alexander von Humboldt en su recorrido por el continente americano.



El parque es rico en flora y fauna

municipios de Perote, Xico, Ayahualulco y Acajete, en Veracruz. Además, el ecosistema es un bosque de pino y oyamel donde habitan más de mil especies de flora y fauna, de las cuales 64 se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con las normas mexicanas y 42 son exóticas. A pesar de ser un área protegida, el mayor riesgo que enfrenta el parque es la deforestación, pues el bosque se ha ido sustituyendo por cultivos agrícolas de maíz y papa.

El Parque Nacional Cofre de Perote.
Geología volcánica del Cofre de Perote:

Es considerado un estratovolcán, es decir, con forma cónica, un cráter central y conformado por capas de lava y fragmentos de roca como escoria, arena y cenizas, producto de diferentes erupciones. Se estima que estuvo activo hace unos 400 mil años.

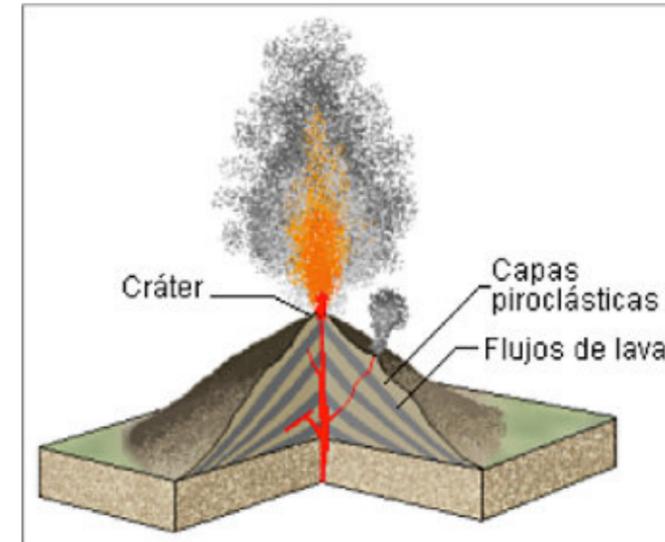
El Cofre de Perote es un volcán apagado que se originó durante el Mioceno, hace 20 millones de años, en un periodo de erupciones que contemplaron un solo foco volcánico importante. Aunque en la actualidad no existe un cráter, se cree que los precipicios al sur y sureste de La Peña constituyen su pared occidental, y que las restantes se perdieron a causa de las explosiones. Después de permanecer inactivo por algún tiempo, la actividad



La cumbre del Cofre de Perote tiene una roca cuadrada, de ahí su nombre.

En 1937 fue decretada la creación del Parque Nacional Cofre de Perote como área natural protegida, abarcando una superficie de 11 700 hectáreas pertenecientes a los

volcánica se manifestó de nuevo, ya no por el antiguo canal que quizá quedó obstruido, se abrieron nuevos y numerosos puntos en el flanco oriental, y no en la forma de erupciones explosivas sino de eyecciones relativamente tranquilas de lavas de composición más básica. Del campo inmenso de lavas surgieron numerosos conos bien formados, con un cráter pequeño que marca el fin de la emisión de lavas. Las rocas de este volcán tienen una composición mineralógica y una estructura constante y uniforme. En la base de toda la construcción hay rocas cretácicas y sobre las mismas se encuentra un grueso manto de material cinerítico y de rocas riolíticas. La masa principal del volcán está constituida por rocas ígneas como basaltos y tobas de naturaleza basáltica y andesítica cuya edad varía del Cenozoico superior a fechas más recientes. En menor proporción existen areniscas, pizarras calcáreas y calizas del Cretácico. De la montaña convergen tres vertientes hidrográficas: la del río Huitzilapan o Antigua, la del Actopan y la del curso fluvial del Nautla.



Así luce un estratovolcán

El Cofre del Perote, la octava más alta del país.



Evidencia arqueológica hallada en las faldas del volcán:
En 2019, investigadores del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) hallaron tres asentamientos prehispánicos en el municipio de Perote: La mano del diablo, La Viborera y Tepeolo; los tres ubicados en las laderas bajas del volcán y según las investigaciones, datan del año 700 a.C.

Finalmente, en los sitios se encontraron basamentos piramidales, juegos de pelota, patio central y un templo. Aunque aún se desconoce a qué civilización prehispánica pertenecieron estos asentamientos, se descubrió que sus habitantes rindieron culto al volcán.

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

David Nos Francisco

The potential of carboxylesterase activity in the biomonitoring of marine pollution.

Universitat de Barcelona.

Tesis presentada para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Barcelona (UB),

Programa de Doctorado en Ciencias del Mar. 2024.

Sustentante: **David Nos Francisco**.

Directores de Tesis: *Dr. Montserrat Solé Rovira* y *Dr. Joan Navarro Bernabé*.

Resumen

La comprensión y el monitoreo de los impactos de la contaminación en los ecosistemas marinos encabezan la lista de desafíos de la Década de los Océanos de las Naciones Unidas para lograr un océano saludable. El medio marino se enfrenta a un flujo constante de contaminantes químicos procedentes de fuentes terrestres, marinas y atmosféricas, que resultan en mezclas de contaminantes que pueden causar en los organismos marinos una cascada de respuestas, desde bioquímicas hasta fisiológicas. Las respuestas bioquímicas, en particular, pueden servir como biomarcadores de exposición, susceptibilidad o efecto. Dentro de estas, las carboxilesterasas (CEs) hidrolizan una variedad de sustratos y ofrecen una herramienta económica para el monitoreo, especialmente en escenarios que implican mezclas químicas. Sin embargo, los esfuerzos actuales se limitan a unas pocas especies centinelas que se encuentran principalmente en entornos costeros. Esta tesis tiene como objetivo ampliar el conocimiento sobre el uso de las CEs como biomarcadores e identificar especies centinelas alternativas en distintos niveles tróficos y nichos ecológicos. Las actividades de los biomarcadores, pruebas de inhibición *in vitro*, parámetros biológicos (como el tamaño, la masa corporal, el sexo o la temporada reproductiva) y factores ambientales (como la temperatura del mar, la salinidad o el oxígeno disuelto) se utilizaron en combinación para descifrar la respuesta de las CEs a la exposición a contaminantes de interés ambiental, así como su variabilidad natural. Entre las especies centinelas proponemos los copépodos (*Paracartia grani* y *Centropages typicus*), pequeños pelágicos (*Sardina pilchardus* y *Engraulis encrasicolus*), depredadores pelágicos (*Euthynnus alletteratus*, *Sarda sarda*, *Auxis rochei* y *Thunnus alalunga*) y un ave marina (*Larus michahellis*). Se evaluaron las actividades de las CEs y su sensibilidad a contaminantes de interés e inhibidores específicos, destacando el potencial inhibitor del tetrabromobisfenol A en niveles tróficos altos. Además, se evaluó la influencia de los parámetros biológicos y ambientales en la actividad de las CEs en peces y gaviotas, siendo la edad, el sexo y el estado reproductivo los principales factores que modulan la actividad de las CEs. En general, los resultados de esta tesis contribuyen a demostrar cómo los factores biológicos y ambientales afectan a la actividad basal de las CEs. En conjunto, nuestra contribución supone un paso adelante hacia el establecimiento de las CEs como biomarcadores de contaminación no solo en los entornos marinos pelágicos sino también en las áreas urbanas con anchoas y gaviotas como centinelas, respectivamente.

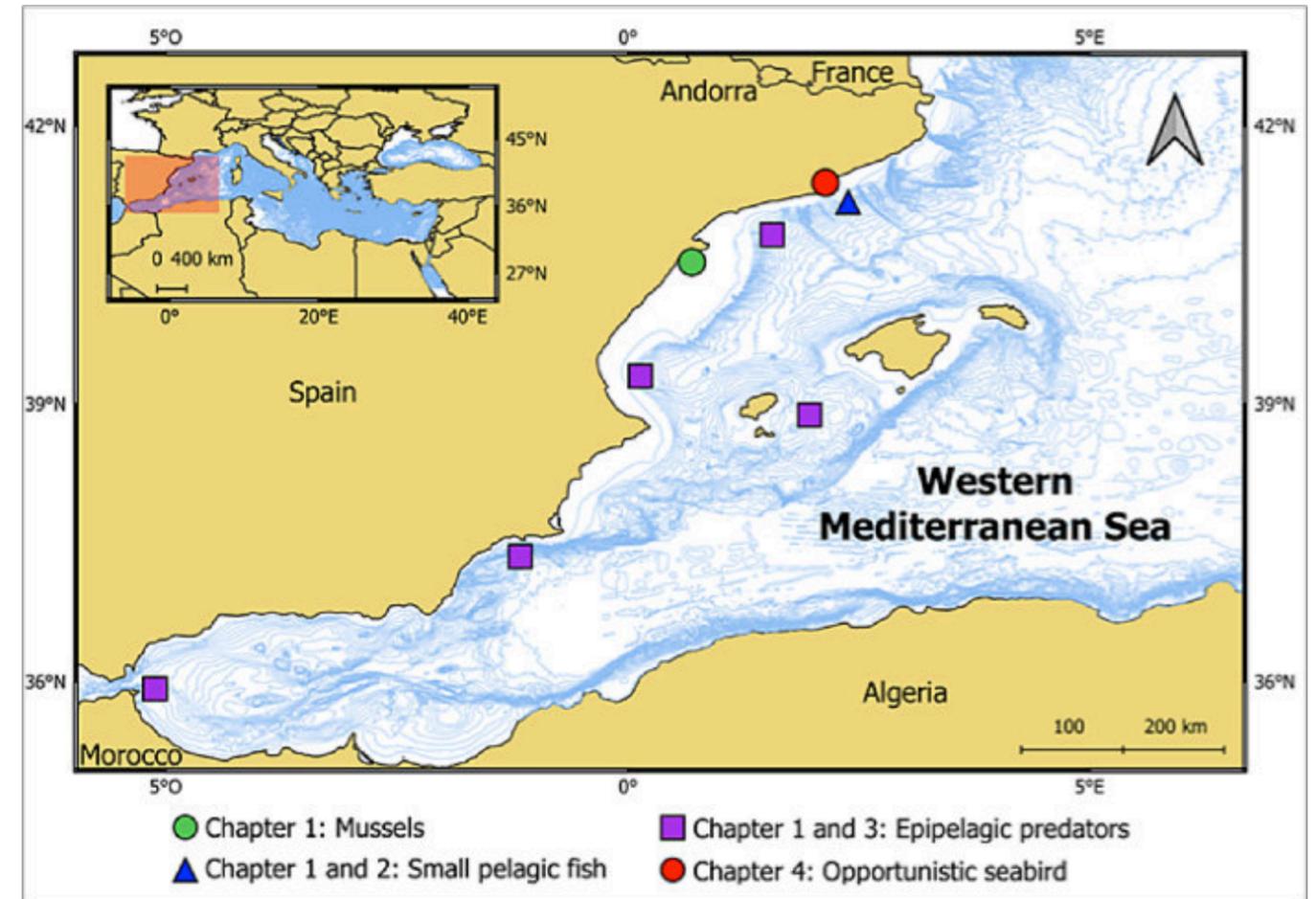


Figura 1.1. Área de estudio, indicando las áreas de muestreo y los capítulos para los cuales se recolectaron muestras biológicas.

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Interpretación, Modelado y Cálculo Volumétrico de un Yacimiento Petrolero en Areniscas del Calloviano Ubicado en el Mar del Norte

Tesis de Licenciatura

Ing. Geofísica, Alejandro Brena Hernández

Resumen

El siguiente trabajo de tesis tiene como resultado final la estimación del volumen original de hidrocarburos del yacimiento. Volve que se encuentra en el Mar del Norte, específicamente en las aguas territoriales de Noruega. Dicha estimación es derivada de la integración de diversas áreas de las geociencias. La caracterización de este yacimiento presenta tres unidades diferentes, las principales siendo las que corresponden a la Formación Hugin y la Formación Heather. La primera es del Calloviano, compuesto por arenas consolidadas y que funciona como roca almacén, mientras que la segunda, suprayace a Hugin está conformada por lutitas del Oxfordiano y funge como sello.

Como paso siguiente, se genera un modelo geológico estructural que será poblado con las propiedades petrofísicas provenientes de pozos evaluados, necesarios para el cálculo de la volumetría. Para realizar esta tarea se hizo un análisis de datos escalados y la estimación de modelo geoestadístico que entregara datos consistentes. Para la roca almacén se obtuvieron los siguientes resultados. Volumen de arcilla de 19%, porosidad efectiva 18.7%, índice de saturación de agua 34% e índice de permeabilidad 474 mD. Después, se analizaron tres casos específicos de NTG para observar el comportamiento y las consecuencias de los valores de corte de Vsh y PHIE.

Una vez calculadas las reservas clasificadas en P90, P50 y P10 se logró estimar un valor aproximado de la recuperación económica que podría generar este prospecto. Además, descartó una zona con geología estructural similar ya que en función del modelo de las propiedades petrofísicas no había ninguna posibilidad de almacén de hidrocarburos

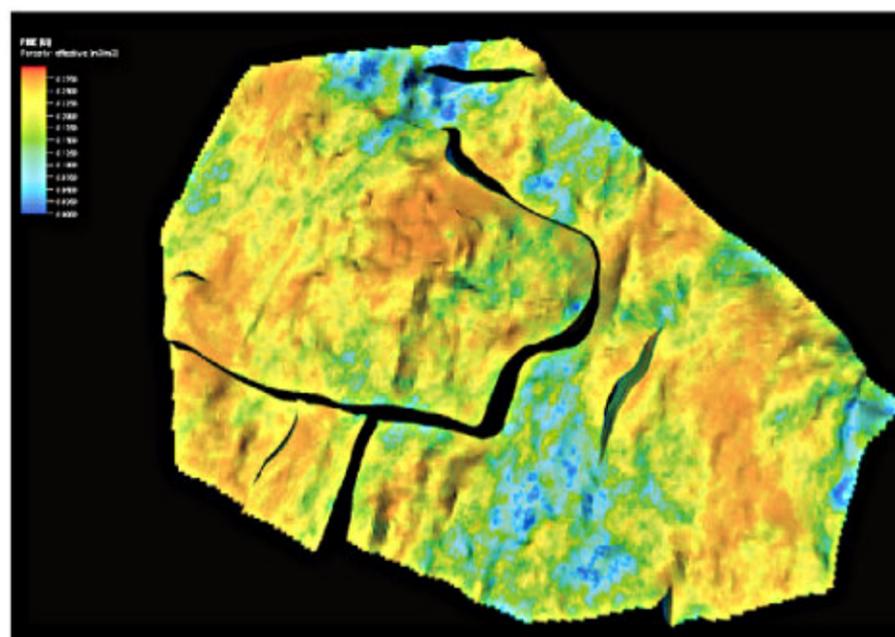


Figura 72. Modelo petrofísico final de Porosidad Efectiva de la unidad 2.

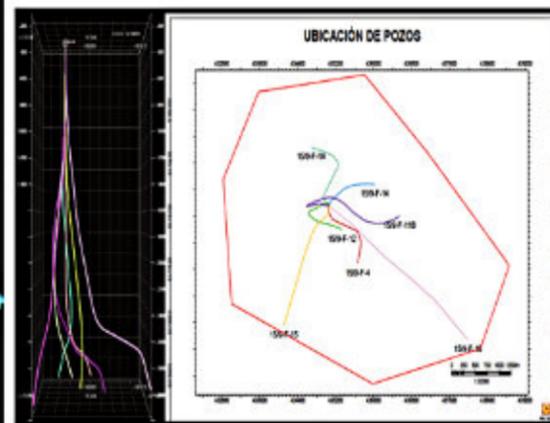


Figura 24. Ubicación y descripción de pozos, dentro del polígono que se utilizó para definir el yacimiento en el caso de este trabajo de tesis.

No Access | Interpretation | Volume 12, Issue 4

Neogene shale-detached extension and contraction linked system in the Akal Fold and Thrust Belt, Southeast Mexico

Check for updates

Authors:

Rodrigo Portillo Pineda and Mariano Cerca

<https://doi.org/10.1190/INT-2024-0039.1>

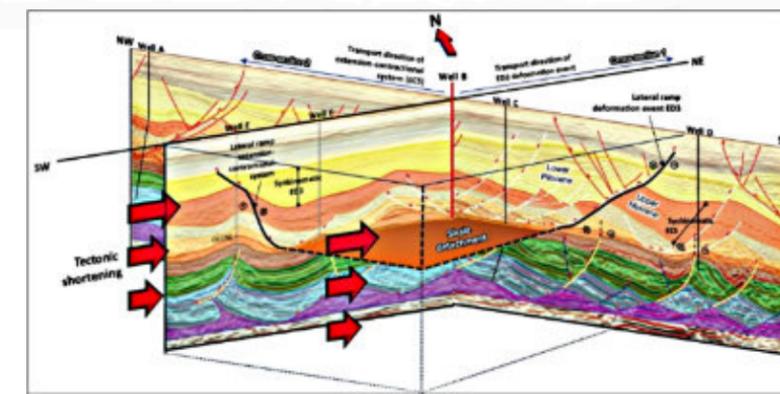
Sections

Full Text | PDF/ePub | Tools | Share

Abstract

<https://library.seg.org/doi/10.1190/INT-2024-0039.1>

Structures related to shale mobility represent an important challenge for proper interpretation in seismic data sets. The large number of seismic sections obtained in recent times of the Akal Fold and Thrust Belt (AFTB) makes this province a natural laboratory for studying shale-related structural styles. The interpretation of two orthogonal 2D seismic sections reveals the geometry of a gravity-driven extension-contraction structural system that developed in the central portion of the AFTB during the Late Miocene to the Early Pliocene. The gravity-driven system was triggered by increasing the sedimentary load in the Miocene and developed a set of listric faults and related growth strata. The contracting structures are the in-sequence fold thrust that evolved from shale-cored detachment anticlines. An Oligocene sequence of soft, weak shale with alternating, rigid layers of sandstone and limestone and a low-resistivity signature acts as the detachment of the gravity-driven system. The progressive sequential restoration of a structural cross section provides more information about the progression of the gravity-driven system. We suggest that mobility started when the Oligocene shale reached a critical condition at >2–3 km burial depth. The coeval northeastward regional Chiapanecan shortening interferes with the last stage of the shale detachment (the Early Pliocene) in the study area and masks the previous interpretation of the gravity-driven system.



Estimación empírica del espectro de Fourier de aceleración horizontal para estaciones de movimiento fuerte en la región norte del golfo de California, México.

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias. 2024.

Sustentante: **Jose María Sequeira Arguedas.**

Director de Tesis: *Dr. Raúl Ramón Castro Escamilla.*

Resumen.

Mediante el análisis de 42 sismos localizados en el sector norte (entre 29.5°N y 31.7°N) del golfo de California (GdC) ocurridos entre 2015 y 2022 con magnitudes de 4.0 a 5.7 Mw, se proponen tres relaciones predictivas de la amplitud espectral del movimiento del terreno para sitios en roca de veinte frecuencias entre 0.32 y 25.12 Hz, considerando la distancia epicentral y magnitud momento como variables independientes. Para ello, se compilaron 140 registros de aceleración con distancias epicentrales entre 9 y 305 km de seis estaciones de la Red Sismológica de Banda Ancha del Golfo de California (RESBAN) operada por CICESE. Se calcularon espectros de aceleración seleccionando ventanas con longitud variable según la distancia epicentral iniciando segundos antes del arribo de la onda S y de las ondas superficiales. Se consideraron tres modelos empíricos para predecir la amplitud espectral de las componentes horizontales: un modelo de un paso y dos modelos basados en el método de dos etapas propuesto por Joyner y Boore en 1981, con un caso lineal y otro cuadrático para la magnitud. Los coeficientes de los modelos se obtuvieron a través de inversión por mínimos cuadrados ordinarios. El modelo de un paso resultó inadecuado y los modelos de dos pasos ajustan mejor los datos, considerándose el caso lineal como el óptimo para la región, pues el cuadrático no mejora el ajuste de las observaciones y no tiene congruencia física para el escalamiento por magnitud. El ajuste mejora y es más representativo para estaciones con mayor cobertura acimutal. Se analizaron escenarios sísmicos para dos eventos de la base de datos (magnitudes de 5.3 y 5.7 Mw) y se determinó la pertinencia del modelo de dos etapas lineal comparándolo con modelos de otros autores para otras regiones. Los modelos analizados consideran un valor regional promedio de atenuación y fueron notorias las diferencias de ajuste entre espectros empíricos de Fourier de aceleración para la región norte del GdC con la central (Canal de Ballenas), posiblemente atribuido a diferencias corticales, geológicas, tipo de fallamiento y estado mecánico del medio rocoso.

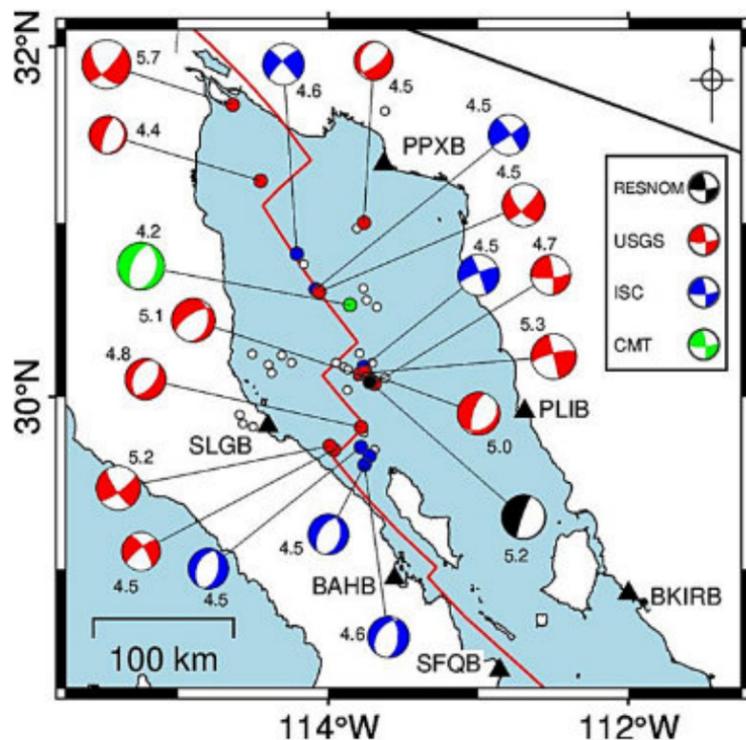


Figura 1.1. A) Mecanismos focales para algunos de los eventos seleccionados para este estudio ocurridos entre 2015 y 2022, consultados en las redes de RESNOM (negro), USGS (rojo), ISC (azul) y CMT (verde), en orden de prioridad.

PREDICCIÓN GEOESTADÍSTICA MULTIVARIADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PROPIEDADES DE YACIMIENTO EN UN CAMPO EN LA CUENCA DE VERACRUZ.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis que para optar por el Grado de: Maestro en Ingeniería. Mayo 2018.

Sustentante: **Maria del Consuelo Mariles Alonso.**

Director de Tesis: *M.en C. Juan Marcos Brandipurata.*

Resumen

Se realizó una inversión geoestadística para la estimación de propiedades de yacimiento en las arenas productoras de edad Eoceno, compuestas de conglomerado redepositados, rocas silicioclásticas asociadas a abanicos de pie de talud provenientes de la Plataforma carbonatada de Córdoba de edad Cretácica, ubicándose dentro de la provincia petrolera de la cuenca de Veracruz. Para realizar la predicción se hizo un análisis de factibilidad de los datos para demostrar que la sísmica responde a propiedades elásticas del medio debido a la presencia de hidrocarburos o de agua, esto a través de aplicar la metodología del análisis de la variación de la amplitud con respecto al ángulo. De este análisis se pudo inferir que los registros de Porosidad, Rayos Gamma, sísmicos de la onda P y onda S son discriminadores de propiedades de yacimiento. De igual forma, se determinó la firma sísmica producto de la presencia del yacimiento en la información pre-pilada (gather) alrededor de pozos productores que responde típicamente a una arena de clase tipo 1 (alta impedancia). Para poder establecer tendencias locales de las propiedades de roca, se realizó una Inversión geoestadística que involucra dos variables, los registros de pozo y la información sísmica a través de atributos geofísicos. Esta variable secundaria sirve para guiar la interpolación del dato del registro de pozo. El estudio se realizó con la técnica geoestadística de Cokriging modificado la cual permite el uso de varios atributos simultáneamente (análisis de multiatributos), lo que da un mayor soporte a la predicción. Se generaron tres mapas de predicción de propiedades: Porosidad, Rayos gamma (donde se infiera la distribución de arena limpia) y por último la relación Vp/Vs la cual está íntimamente ligada a la presencia de hidrocarburos. Los resultados que arroja la inversión geoestadística son muy apegados a la realidad geológica de la zona, lo que permite proponer un pozo de extensión en un área prometedora que se confirmó con los tres mapas estimados.

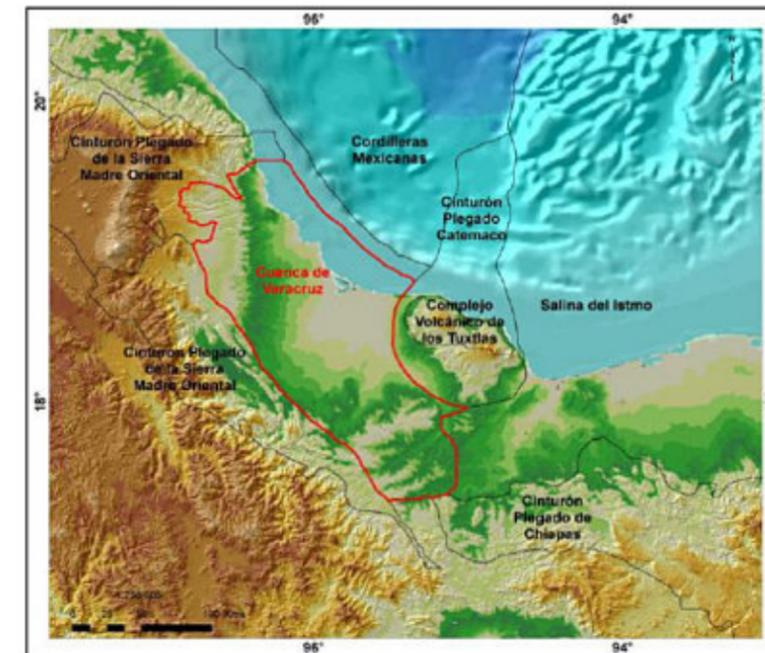


Figura 1.1. Mapa de Ubicación de la Provincia Petrolera de Veracruz tomado de (PEMEX, 2013).

ESTUDIO DE SOLUCIONES APLICADAS EN GEOTERMIA AMBIENTAL PARA CLIMATIZACIÓN EFICIENTE Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EN EL SECTOR PORCINO.

Universidad de Zaragoza, España.

Tesis Doctoral. 2024.

Sustentante: **Maria Samper Marco**.

Director de Tesis: *García Gil, Alejandro*.

Resumen

El desarrollo industrial es uno de los causantes del cambio climático, siendo la ganadería uno de los focos de emisiones de GEI a nivel mundial, por el elevado consumo energético y por la gestión del estiércol. Para favorecer su mitigación el sector porcino incentiva el uso de energías renovables junto con el desarrollo de nuevas tecnologías. La presente Tesis Doctoral forma parte de un proyecto de investigación e innovación que define una nueva terminología puritermia relacionada con el análisis exhaustivo in situ de las primeras explotaciones ganaderas en España que disponen de energía geotérmica; con el objetivo de reducir el consumo energético y disminuir el porcentaje de emisiones de gases contaminantes en el interior de las salas. Para ello, se utilizan instrumentos de monitorización energéticos y aparatos de medición de alta precisión para la determinación de concentraciones de gases asociados a salas con o sin puritermia. Los resultados obtenidos han permitido confirmar la rentabilidad económica y la eficiencia energética en el sector. El estudio de eficiencia energética de estas novedosas instalaciones de puritermia ha dado valores de coeficiente de rendimiento (COP) por encima de cuatro en la mayoría de los casos estudiados. Además, el estudio de emisiones asociadas a las salas con puritermia ha mostrado una reducción por debajo de los valores establecidos por las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) propuestas por la Unión Europea en su Directiva 2010/75/UE de emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). Esto se traduce en un beneficio medioambiental que marcará un importante hito en el sector, tanto para el bienestar humano como para el animal. Es precisamente el bienestar de la población mundial lo que implica un aumento de consumo de carne, lo que se traduce en un aumento en las emisiones y para controlar este ascenso esta Tesis Doctoral muestra resultados concluyentes que suponen un punto de partida para nuevas líneas de investigación.

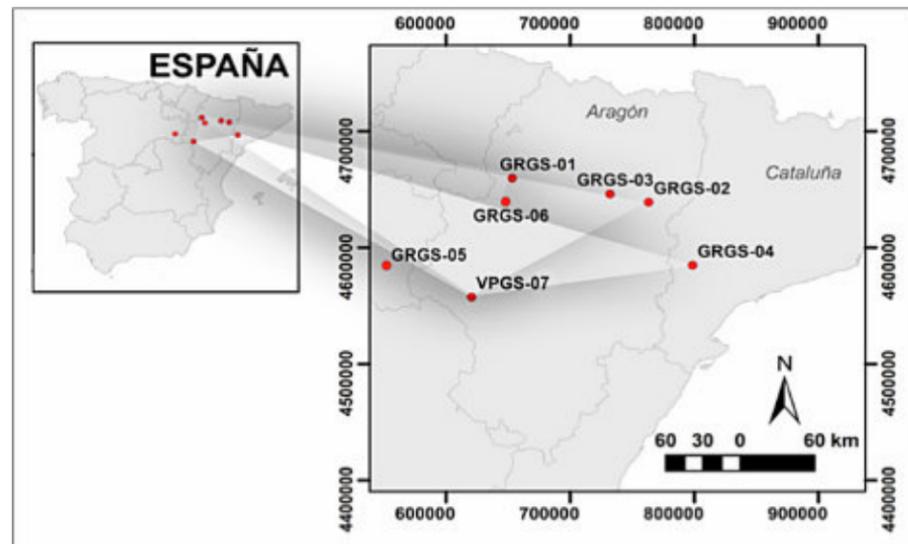


Figura 1.1. Ubicación geográfica de los distintos casos de estudio.

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021 INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Estudio de conducción de fluidos en medios porosos y fracturados aplicando drp

Tesis de Licenciatura

Ing. Geofísica

Jonathan De La Rosa Maldonado

Resumen

En el presente trabajo se explora la influencia que tiene la estructura y topología de los poros sobre el flujo de fluidos, particularmente en siete rocas volcánicas pertenecientes al Complejo Volcánico Los Humeros (CVLH). Para su estudio cada una de estas muestras fue cortada en tapones de distintos tamaños (25.54, 10 y 3 mm de longitud) e ingresada a un microtomógrafo de rayos X de la marca ZEISS modelo Xradia 510 Versa. Esto nos ayudó a conseguir una representación digital tridimensional (3D) de la roca al igual que de la estructura interna de la misma a tres diferentes resoluciones (26, 10 y 3 $\mu\text{m}/\text{voxel}$). Partiendo de las imágenes 3D de cada una de las muestras, cada una de ellas fue sometida a un procesamiento de filtrado (eliminación de artifact) y segmentación (método de Otsu). Este último permitió delimitar la porosidad total y efectiva. A través del espacio poroso conectado (o porosidad efectiva), se llevaron a cabo simulaciones de permeabilidad. Simultáneamente a partir de la microtomografía 3D de las muestras, se extrajo la estructura y topología de los poros (número de Euler y tortuosidad) en el espacio poroso conectado. Además, se usó como técnica complementaria "Pore Network Model" (PNM) para simular la permeabilidad y extraer otras características individuales de los poros a través de un modelo simplificado del espacio poroso como: diámetro de los poros, número de coordinación, diámetro de las gargantas y longitud de las gargantas.

Se sometió a prueba una hipótesis donde decimos que "las características estructurales (geométricas) y topológicas describen el medio poroso de las rocas de forma cuantitativa y estas están relacionadas con la transmisión de fluidos (permeabilidad)". Los resultados indican de forma general que los valores de porosidad total estimados a partir de las imágenes de $\mu\text{-CT}$ a una resolución de 3 $\mu\text{m}/\text{voxel}$ proporcionó los valores de porosidad total con mayor similitud a los valores experimentales para cada muestra estudiada.

Por otro lado, en las simulaciones de permeabilidad a partir de las imágenes. A todas las resoluciones se obtuvieron valores muy superiores a los reportados de forma experimental. Resultó ser una tarea ardua la extracción de la estructura de los poros de nuestras rocas de forma sistemática directamente de las imágenes de $\mu\text{-CT}$, debido a las formas altamente amorfas de los poros. Sin embargo, se obtuvo el número de Euler y tortuosidad. Aun así, esta información es modesta para caracterizar de forma completa la estructura de los poros de nuestras rocas y encontrar una relación con el flujo de fluidos. A través de los modelos de PN de nuestras muestras de roca se encontró que: (1) las dimensiones del radio de los poros, la longitud de la garganta y el tamaño de la garganta puede ser indicativo de una buena o mala permeabilidad, (2) el número de coordinación en el caso particular de nuestras muestras estudiadas no se encontró alguna relación con la permeabilidad, (3) el número de Euler resultó un parámetro útil en la estimación global de la conectividad de cada una de nuestras muestras, sin embargo no es suficiente para conocer la geometría propia de los poros de las muestras estudiadas y (4) la tortuosidad se encontró que es un factor de correlación inversa, donde mientras aumenta la tortuosidad disminuye la permeabilidad y viceversa.

Reconstructing the Zama (Mexico) discovery source to sink palaeogeography, Part II: Sediment routing from the Late Miocene shelf-margin to deepwater basin

J. W. Snedden, M. G. Rowan, D. F. Stockli, M. Albertson, J. Pasley

First published: 05 February 2024 <https://doi.org/10.1111/bre.12849>Citations: 1

Read the full text

Abstract

The Late Miocene source terrane tectonic history in the southern Gulf of Mexico Basin, as informed by detrital zircon geochronology data, supports a detailed regional palaeogeographic reconstruction from palaeoshoreline to the deepwater Zama minibasin of the Sureste salt basin. Seismic mapping points to a trio of pathways that converge upon two entry points into the Zama minibasin, illuminating how sediment gravity flows transit a complex seascape defined by shallow salt bodies. Consideration of empirical scaling relationships within and between segments of this sediment dispersal system allows for testable predictions of Upper Miocene submarine fan-runout lengths over basin exploration areas. Distances from the reconstructed shelf-margin to the Zama wells vary around 100 km, an increase of 20% over a straight-line distance as flows likely navigated around extant salt stocks, walls and sheets. This 100-km fan length is about 40% of the reconstructed minimum palaeo-river length, within predicted ranges for smaller source-to-sink systems in tectonically active areas (25 to 50%). The estimated fan-runout distance can be extended even further basinwards, considering the contemporaneous passage of the mobile Chortis block along the Tonalá shear zone, expanding the Palaeo-Rio Grijalva drainage network during the Tortonian. These Late Miocene deepwater systems linked to the Palaeo-Rio Grijalva differ substantially from onshore Mexico-sourced turbidity flows feeding into the axis of the north-trending Veracruz Trough. Textural data from wells here suggests these systems were less effective at larger grain transport and sorting. Local (intra-basin) variations are also evident within the Zama minibasin, as well data (image logs and cores) indicate that axially oriented sediment gravity flows involved fewer high-density turbidities, depositing lower net-to-gross sandstones and thicker shales than those flowing transverse to the basin axis from a southeastern basin entry point. These interpretations will guide both local exploitation of these economic resources and could also support future exploration for analogous salt-influenced deepwater reservoir systems in the Sureste basin and globally.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bre.12849>

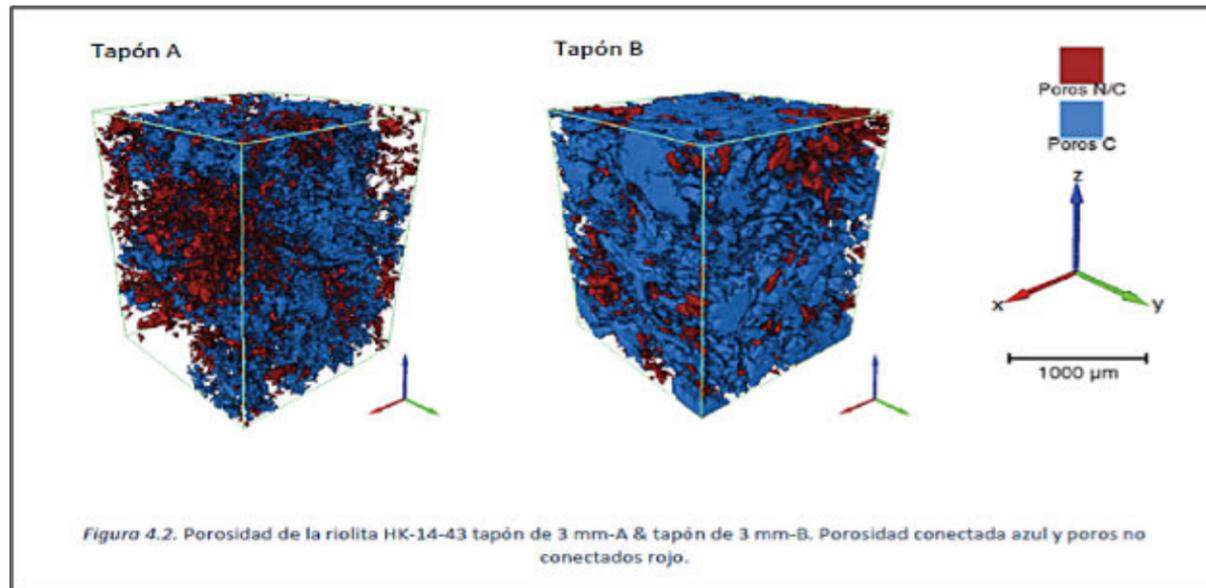


Figura 4.2. Porosidad de la riolita HK-14-43 tapón de 3 mm-A & tapón de 3 mm-B. Porosidad conectada azul y poros no conectados rojo.

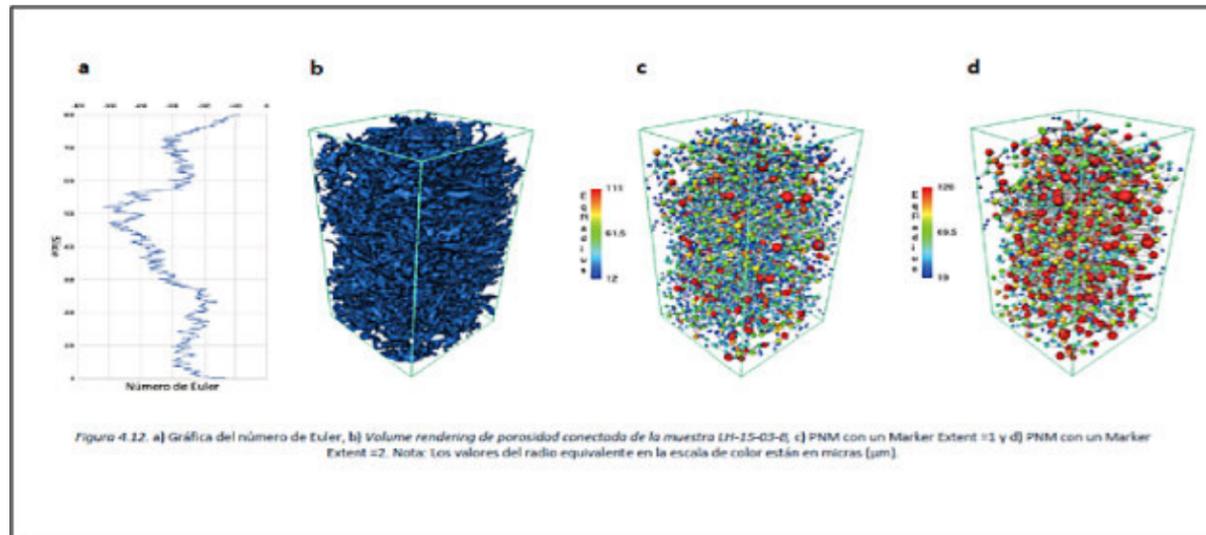


Figura 4.12. a) Gráfica del número de Euler, b) Volume rendering de porosidad conectada de la muestra LH-25-03-E, c) PNM con un Marker Extent =1 y d) PNM con un Marker Extent =2. Nota: Los valores del radio equivalente en la escala de color están en micras (µm).

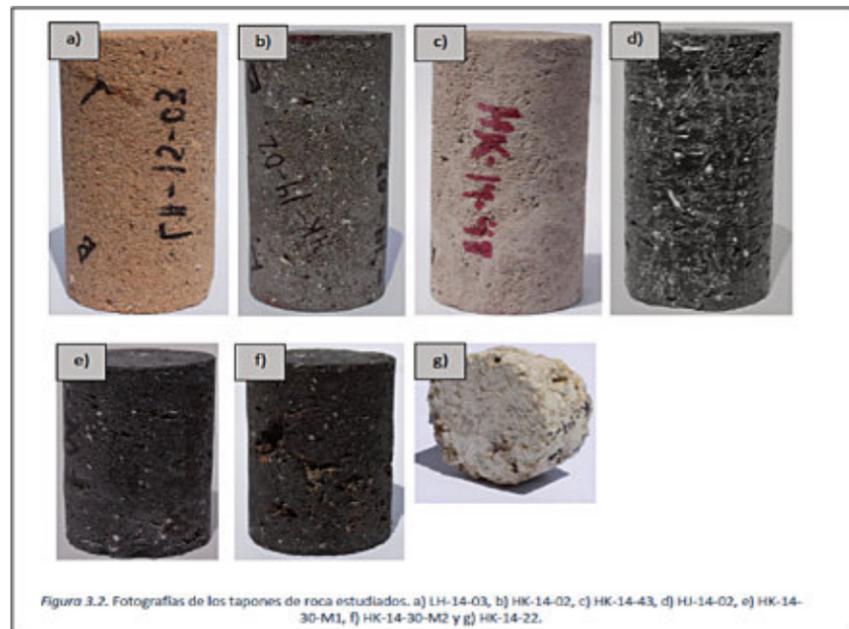
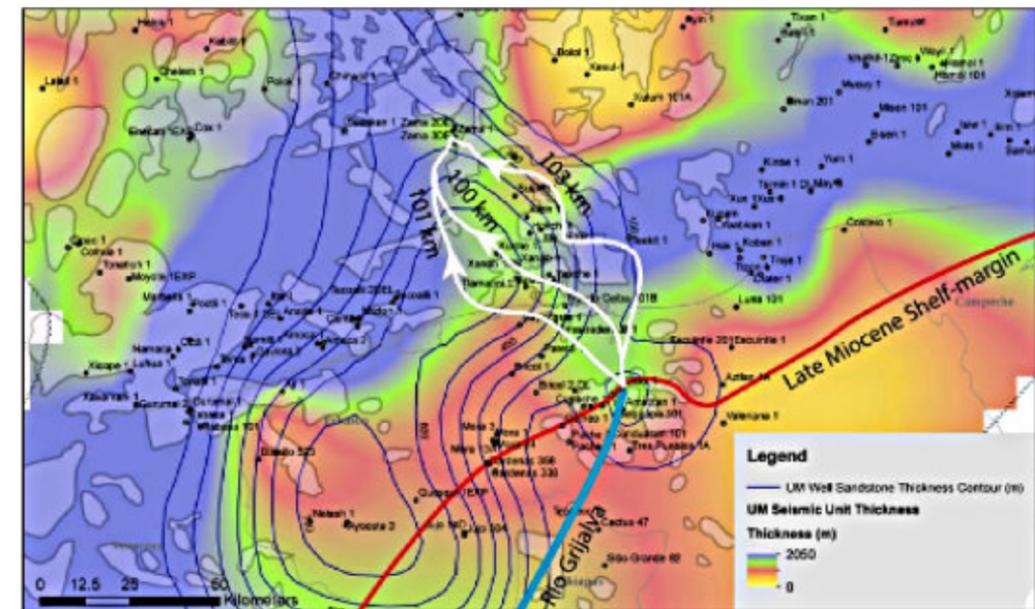


Figura 3.2. Fotografías de los tapones de roca estudiados. a) LH-14-03, b) HK-14-02, c) HK-14-43, d) HI-14-02, e) HK-14-30-M1, f) HK-14-30-M2 y g) HK-14-22.



Modelado numérico de ondas guiadas en una zona de baja velocidad y sus efectos en sismogramas grabados con fibra óptica (DAS) en la presencia de fracturas.

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias. 2024.

Sustentante: **Fernando Valencia Flores.**

Director de Tesis: *Dr. Jonás de Dios de Basabe Delgado.*

Resumen

El fracturamiento hidráulico es una técnica de estimulación aplicada en la recuperación de gas y aceite en los yacimientos no convencionales, dichas fracturas son creadas por etapas de disparos que inyectan fluido apuntalante que estimula el crecimiento de las fracturas. Se ha demostrado por registros de producción que entre 20 a 40 por ciento de los disparos de perforación no contribuyen a la producción, lo que significa que el crecimiento de las fracturas no es uniforme como se pretende. Una manera de caracterizar las fracturas es de forma remota, por medio de perfiles verticales sísmicos (VSP, por sus siglas en inglés). Una manera alternativa reciente, la cual está sustituyendo el uso de geófonos, es llamada Detección Acústica Distribuida (DAS, por sus siglas en inglés), donde los receptores están hechos por cables de fibra óptica. Se ha observado que los disparos de perforación que estimulan las fracturas en los yacimientos no convencionales pueden generar ondas guiadas dentro del yacimiento y que pueden ser registradas por un pozo cercano al área dentro de la misma formación con el sistema DAS instalado. Para dar soporte y ayudar al entendimiento de las observaciones de campo se ha realizado en este proyecto simulación numérica en 2D que cumpla con las características encontradas en un yacimiento no convencional. El método numérico Galerkin Discontinuo de penalidad interna (IP-DGM, por sus siglas en inglés) que puede incluir en la propagación de ondas la presencia de fracturas por medio del modelo de deslizamiento lineal (LSM, por sus siglas en inglés). IP-DGM es un método de elemento finito que usa funciones base discontinuas y términos de penalidad adicionales en la forma débil para imponer continuidad cuando se requiera. Con la implementación de este método en un escenario de baja velocidad (como una formación arcillosa) dentro un medio más rápido, fue posible introducir fracturas en la creación de sismogramas sintéticos para posteriormente transformarlos a sismogramas DAS, yendo de campos de desplazamiento a sismogramas de tasa de deformación. En los resultados obtenidos, se observan retrasos en la información sísmica debido a las fracturas y disminuyendo este efecto conforme aumenta la distancia fuente-receptor.

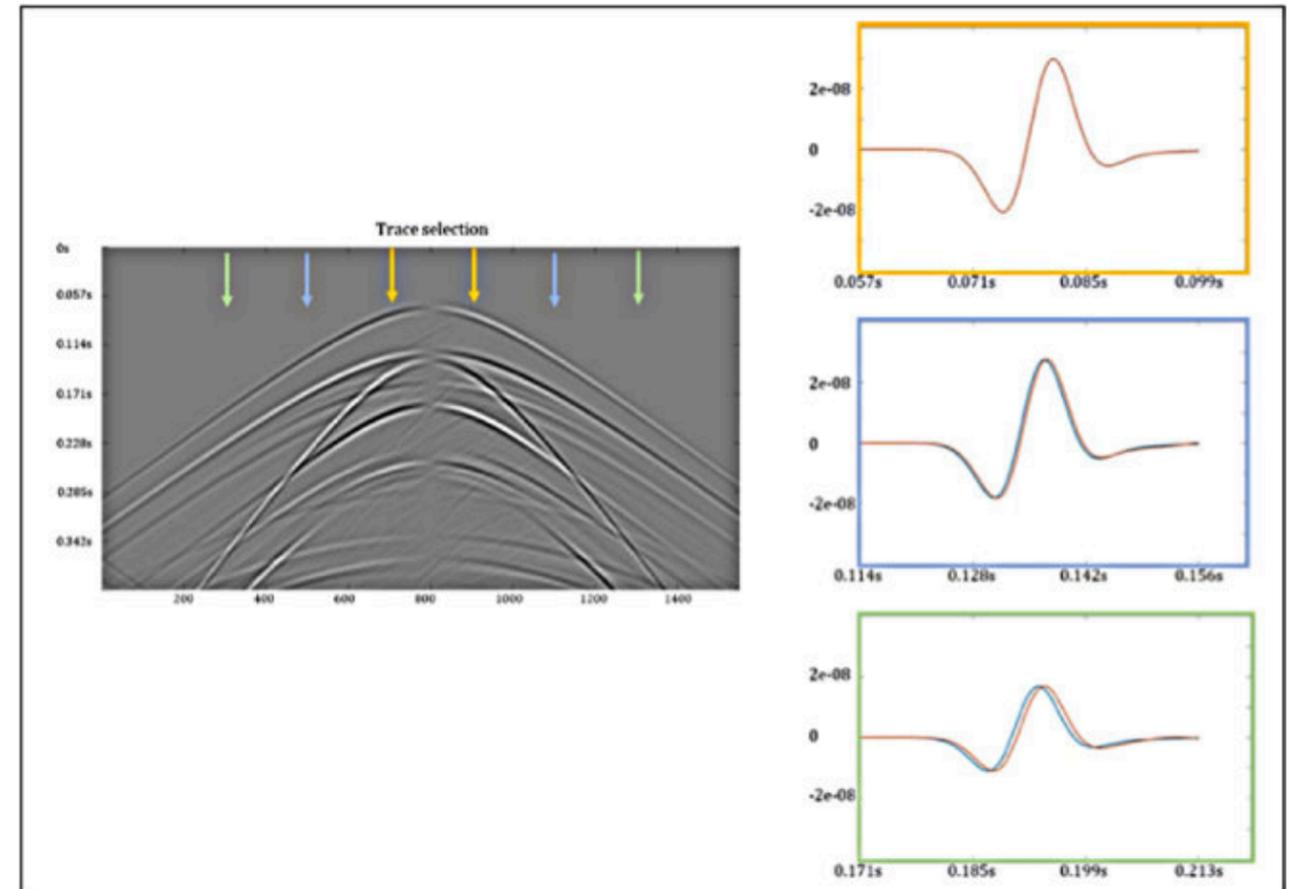
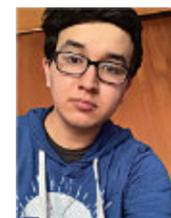


Figura 1.1. Selección de trazas a diferentes distancias entre la fuente y el detector.

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



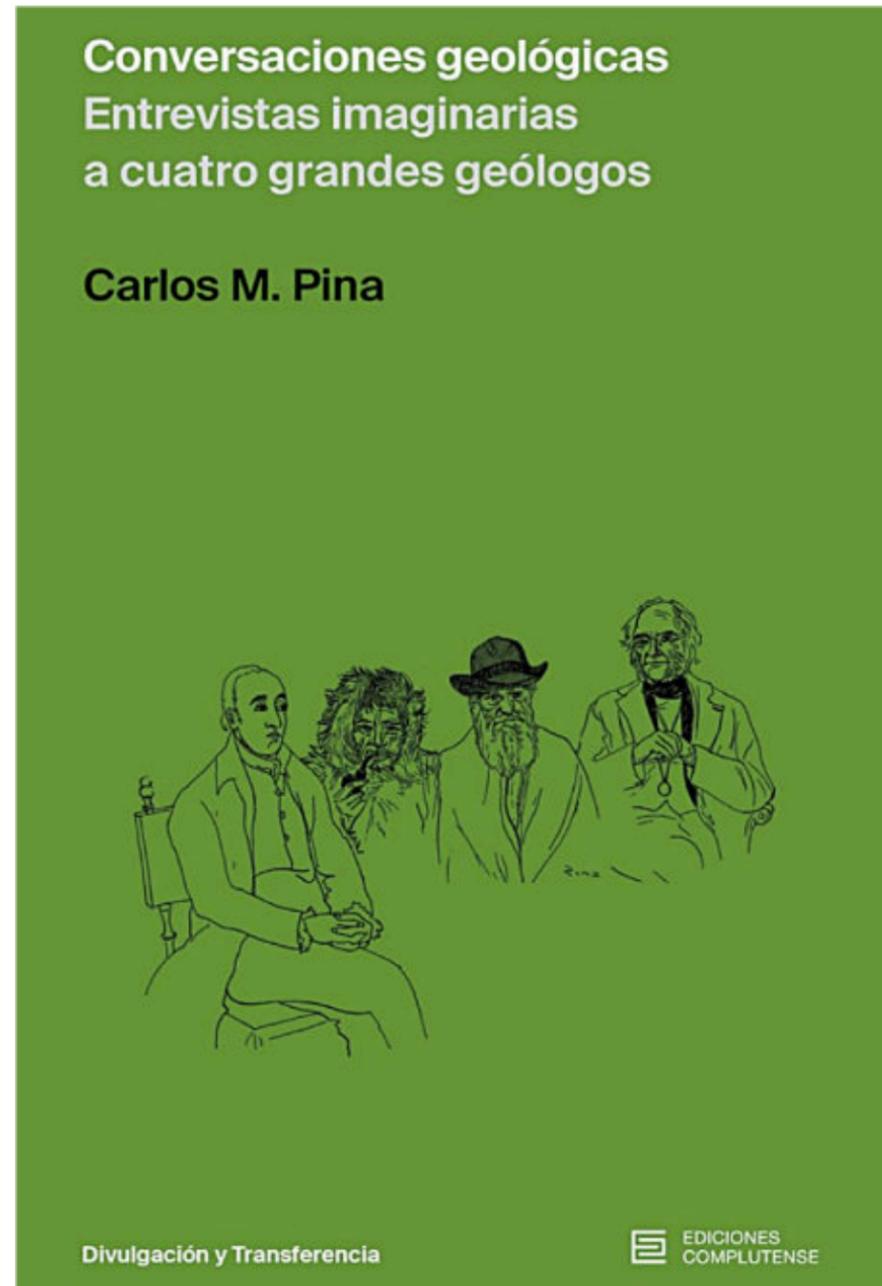
Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

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

diegogabriel807@gmail.com

El libro recomendado

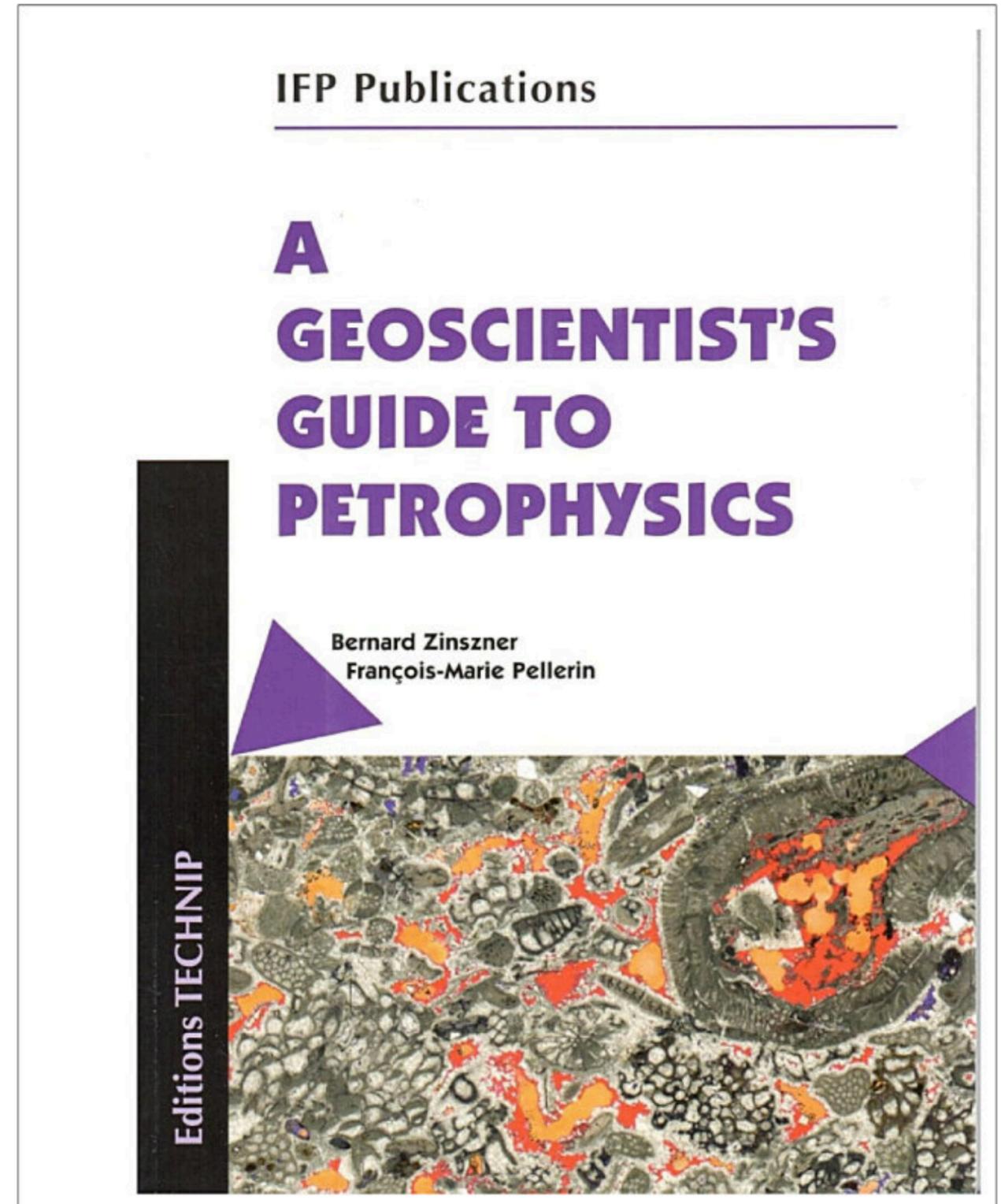
<https://www.ucm.es/ediciones-complutense/conversaciones-geologicas-entrevistas>



Las investigaciones de James Hutton, Charles Lyell, Charles Darwin y Alfred Wegener fueron cruciales para la constitución de la geología como ciencia moderna. A lo largo de sus vidas realizaron viajes apasionantes, escalaron montañas, se acercaron a volcanes, recogieron muestras y, sobre todo, no dejaron de reflexionar sobre los procesos que dan lugar a la formación de las rocas en nuestro planeta. Este libro presenta cuatro conversaciones imaginarias con estos grandes científicos en las que ellos mismos nos cuentan sus aportaciones a la geología, los problemas que se encontraron durante sus investigaciones, los viajes que hicieron e incluso las controversias geológicas en las que se vieron envueltos. Se trata de cuatro charlas distendidas en las que un entrevistador curioso pregunta a Hutton, Lyell, Darwin y Wegener sobre sus vidas, sus estudios y sus ideas acerca de cuestiones clave como la extensión del tiempo geológico, el ciclo de las rocas, la naturaleza y constancia de los procesos geológicos y el movimiento de los continentes.

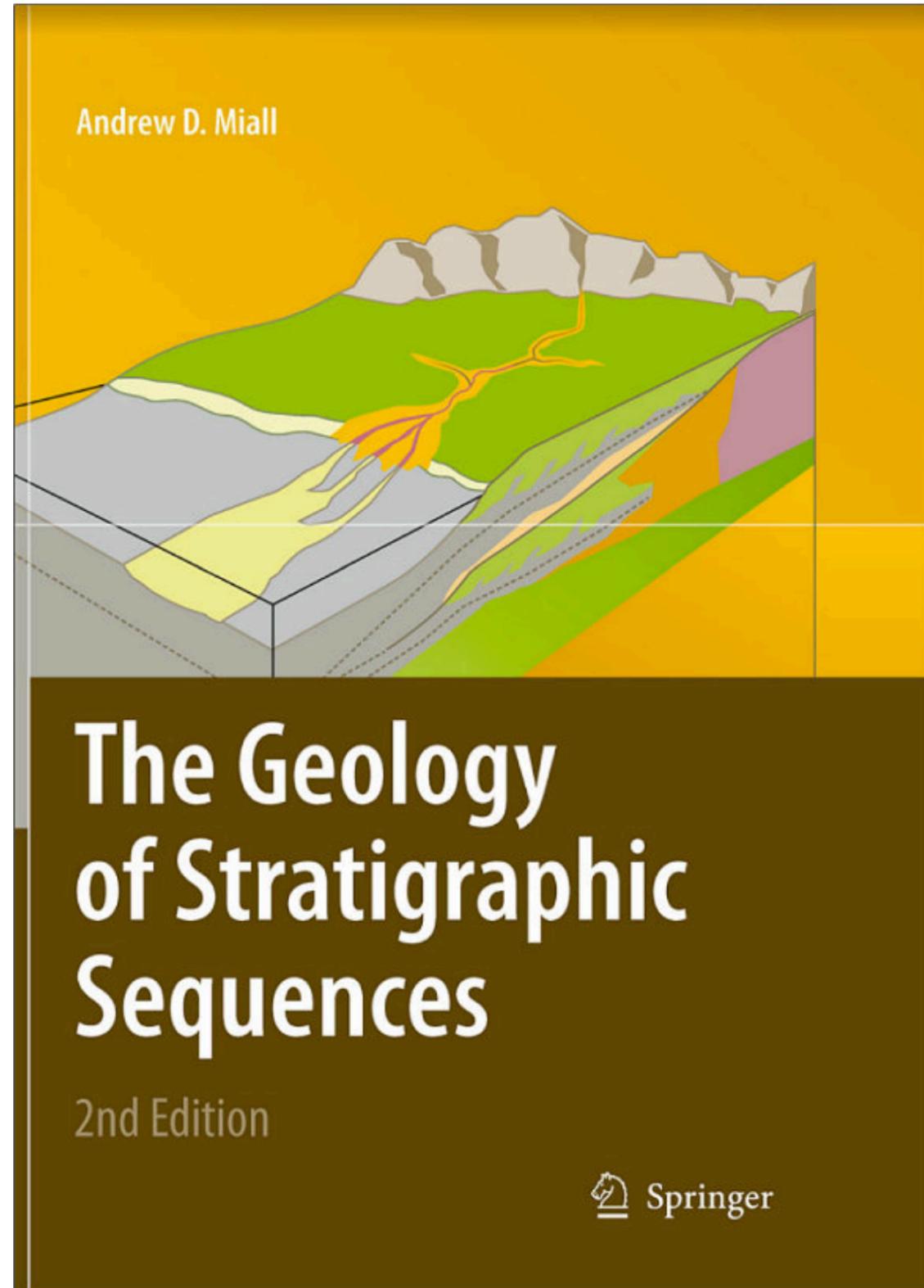
El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Geoscientists-Guide-Petrophysics-IFP-Publications/dp/2710808994>



El libro recomendado

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



TEMAS DE INTERÉS

Sostenibilidad en la transición energética. Avances y desafíos para la transición energética en 2024.

Natalia Silva Cruz
Colaboradora de la Revista

El año que acaba de terminar ha sido uno de los más activos ambientalmente hablando, y aunque no es posible señalar directamente al calentamiento global, no podemos negar que las altas temperaturas son el principal combustible de catástrofes ambientales como huracanes, inundaciones, sequías, incendios forestales, tifones y otros, y que 2024 ha sido oficialmente el año más caliente desde que tenemos registros. El Servicio para el Cambio Climático del Programa Copérnico de la Unión Europea ha publicado que el 2024 ha sido el primer año en el que la temperatura global promedio superó por 1,5 °C las temperaturas preindustriales¹.

Afortunadamente, 2024 también marcó un hito en avances para el control del cambio climático, actores de sectores industriales junto con líderes de regiones que antes era inimaginable que pudieran ser parte de los esfuerzos por mitigar el calentamiento global, están liderando activamente directrices en pro del ambiente. Veamos qué se consiguió durante el año:

1. Aumento de capacidad de generación de energía de fuentes renovables. En julio pasado, la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) estimaba que, según las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional en el Acuerdo de París actualizadas a diciembre de 2023, la capacidad de renovables para 2030 con respecto a 2022 sería de 2,2 veces; no obstante, según reevaluaciones realizadas en octubre, esta cifra estaría más cercana a 2,7ⁱⁱ. Si bien este multiplicativo de 2,7 está por debajo del 3,0 que corresponde a la propuesta presentada por científicos en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2023 realizada en Dubai (COP28), es bastante esperanzador que en tan poco tiempo sea posible crear un plan con metas tan significativas para el mejoramiento del ambiente. Es indispensable mencionar que China, el líder de las emisiones de gases de invernadero globales (es responsable del 31%ⁱⁱⁱ), también es el líder en crecimiento de capacidad de generación renovable, se calcula que para 2030 será el responsable del 60% del incremento mundial, algo equivalente a un aumento de más de 3.000 GW de potencia entre 2024 y 2030.

2. Integración de Inteligencia Artificial para resolver desafíos de sostenibilidad ambiental. La inteligencia artificial está ganando terreno para el control de emisiones mediante el uso de herramientas que aumentan la optimización en procesos clave como cadena de suministros, administración de huellas de carbono y agricultura, es decir, las conocidas como Emisiones de Alcance 3, que son muy difíciles de contabilizar porque son generadas de manera indirecta previamente a la manufactura del producto o servicio final (algunos ejemplos de estas emisiones son viajes de negocios, extracción de materias primas, producción agrícola, transporte, entre otros).

3. Aprobación del Marco de Resiliencia Climática Global de los Emiratos Árabes Unidos en la COP28. Por primera vez se dio lugar al establecimiento de una estructura de cooperación para la adaptación frente al cambio climático. Ésta prioriza la creación de resiliencia de los sectores más vulnerables como son el acceso a alimentación, agua, salud e infraestructura, así como el apoyo a las regiones más frágiles.

4. Regulaciones contra el *Greenwashing*. La Unión Europea y California introdujeron recientemente normativas para combatir el *greenwashing* que empezaron a entrar en vigor en 2024 que incluyen regulaciones estrictas y requisitos de transparencia. La UE estableció una clasificación para definir qué actividades son en realidad ecoamigables para garantizarle transparencia a los consumidores finales de las diferentes industrias, creó el Reglamento sobre Información Corporativa en Sostenibilidad (CSRD, por sus siglas en inglés) mediante el cual le exige a las grandes compañías informar detalladamente sus impactos en el ambiente, sociedad y gobernanza, igualmente, instauró cambios a la Directiva de Prácticas Comerciales Desleales (UCPD, por sus siglas en inglés) para abordar directamente el *greenwashing*, exigiendo soporte que respalde las manifestaciones sobre temas ambientales corporativas. Por su lado, en los Estados Unidos, la Comisión Federal de Comercio (FTC, por sus siglas en inglés) está tomando medidas estrictas para evitar que las compañías lancen afirmaciones ambientales falsas, incluyendo la exigencia de claridad en las etiquetas y mensajes de mercadeo.

5. Soluciones basadas en la naturaleza para proteger el Amazonas. Países como Brasil y Colombia han comprometido recursos significativos para resguardar la selva amazónica, consiguiendo financiación internacional

que sería utilizada para maximizar la reforestación y el acompañamiento a grupos indígenas que apoyen la prevención de la pérdida de calidad del ecosistema.

Sin embargo, todavía tenemos desafíos que requieren una revisión urgente, por ejemplo, el Marco de Resiliencia Climática Global no establece claramente la financiación necesaria para llevar a cabo sus objetivos, y tal como hemos mencionado en nuestra serie de artículos sobre sostenibilidad, ningún proyecto para la transición energética será llevado a cabo si no existe viabilidad económica, por lo que todavía no se ve con buenos ojos por las diferentes partes involucradas. Todavía estamos

lejos de establecer un esquema de implementación efectiva y distribución de recursos que promuevan la igualdad de todas las regiones para combatir el cambio climático. Carecemos de una fuerte voluntad política e interés económico que sirvan como motor para la implementación de objetivos globales en pro del ambiente y la investigación para que sea técnicamente posible la descarbonización de los sectores más complicados, como son el transporte, la agricultura y la industria. Resolver estos retos es imprescindible para controlar el cambio climático y minimizar los graves efectos que tiene en nuestras vidas.

¹Reuters. 2024 is the hottest year on record, EU scientist say. Diciembre 2024.

²IEA (2024), Renewables 2024, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2024>, Licence: CC BY 4.0

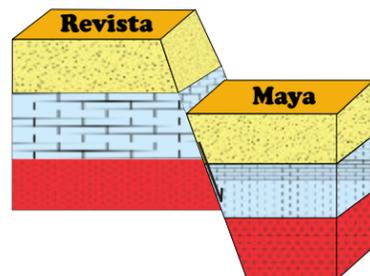
³Visual Capitalist. Visualizing All the World's Carbon Emissions by Country. Noviembre 2023.



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

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

ensilvacruz@gmail.com



UNA MIRADA A LOS 60 AÑOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA GEOFÍSICA EN CUBA

Prof. Dr. Ing. Guillermo Miró Pagés
Prof. Dr. Ing. José Antonio Díaz Duque

Resumen.

Al cumplirse los 60 años de la fundación de la Escuela de Ingeniería Geofísica en Cuba resulta imprescindible efectuar una mirada a su rica historia. A partir de la investigación bibliográfica y las vivencias de algunos de sus alumnos y profesores, entre ellos los propios autores del trabajo, se recorren en apretada síntesis las tres etapas en que se estructura su desarrollo en el tiempo. La primera de ellas, la más extensa y con el mayor aporte de graduados, se extiende desde 1964 hasta 1994, y es la fundacional, en la que se organizan por primera vez los estudios de Ingeniería Geofísica en la nación cubana, recogiendo la experiencia internacional. La segunda etapa, desde 1995 y hasta 2009, se caracteriza por no producir egresados de la carrera y concentrar los esfuerzos en la docencia de posgrado y la investigación científica. La tercera y última etapa comienza en 2010 con la reapertura de los estudios de pregrado y llega hasta el presente, con diez graduaciones de ingenieros geofísicos y un fortalecimiento de la superación profesional, con énfasis en los estudios de maestría y doctorado en Geofísica Aplicada.

Introducción.

Tres etapas conforman la notable historia de la Escuela de Ingeniería Geofísica a lo largo de sus fructíferos seis decenios, una buena parte de ellos conducidos por el actual Departamento de Geociencias de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".

La primera de estas etapas se remonta a su surgimiento en 1964 en el seno de la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana, bajo la influencia de la Reforma Universitaria de 1962, y llega hasta el año 1994 en que se graduó el último contingente de geofísicos, quedando truncada la enseñanza de la Geofísica en el país, debido a una desatinada interpretación en la aplicación del concepto del perfil amplio, siendo asimilados los nuevos ingresos a partir del año 1989 por la carrera de Ingeniería Geológica que se cursaba en el entonces Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

La segunda etapa comprende el período 1995-2009 en el que el Departamento de Geociencias, heredero de la Escuela, se dedica exclusivamente a la docencia de postgrado y a la ejecución de importantes investigaciones científicas, no teniendo lugar la formación de pregrado en Ingeniería Geofísica.

La tercera y actual etapa se inicia con la reapertura de la carrera en el año 2010, tras un arduo proceso de análisis y

debates en el seno de la comunidad geocientífica cubana que logró la rectificación del error cometido en 1989 y que produjo un hiato de 20 años en la formación de los ingenieros geofísicos en el país, pues la próxima graduación sería en 2015.

Hasta la fecha, se ha realizado un total de treinta y siete graduaciones formando a 772 ingenieros geofísicos, entre ellos 13 extranjeros de ocho países de África y América Latina. En su historial también se registra la formación de 110 Máster en Geofísica Aplicada, de ellos 37 extranjeros de seis países (Angola, Cabo Verde, Colombia, Sao Tome, Uruguay, Venezuela), y de 37 Doctores en Ciencias Técnicas y Ciencias Geológicas, de ellos 14 del propio claustro, tres angolanos y 20 externos procedentes de diversas entidades geológicas del país.

Primera etapa 1964-1994.

Los antecedentes inmediatos de esta etapa tienen lugar en los años previos, bajo la influencia de la Reforma Universitaria realizada en 1962 y del inicio de los trabajos de investigación geológica luego del triunfo de la Revolución Cubana en enero de 1959 que nacionalizó, bajo el amparo del Decreto Ley No. 890 del 13 de octubre de 1960, a las compañías extranjeras que habían realizado operaciones mineras, geológicas y geofísicas en Cuba hasta esa fecha en todo el territorio nacional, entre otras grandes propiedades.

El derrocamiento del régimen dictatorial de Fulgencio Batista y con ello la transformación radical de la estructura económica y social del país, a partir de la llegada al poder de una revolución humanista y marxista, declarada socialista en 1961, propició la creación de las bases necesarias para la formación de una masa crítica de profesionales capaces de llevar a cabo las complejas investigaciones geológicas que requería con urgencia la creación y consolidación de un nuevo sistema económico y productivo.

Desde 1960 se inician los trabajos geológicos y geofísicos regionales, con la sistematización de toda la información acumulada con anterioridad por las compañías extranjeras y cubanas, las que actuaban de forma independiente. Para ello se contó con la colaboración de especialistas latinoamericanos y soviéticos, concentrándose los estudios petroleros en la zona norte de Cuba, en la que se perforaron algunos pozos profundos en las provincias de Las Villas y Pinar del Río y numerosos pozos a lo largo del litoral norte Habana-Matanzas y también en las zonas interiores donde ya eran conocidos y habían sido explotados yacimientos de petróleo.

Mediante diversas disposiciones jurídicas se conforma en octubre de 1961 el Servicio Geológico Nacional, representado por el Instituto Cubano de Recursos Minerales (ICRM), en el que en 1963 se concentra y organiza toda la información geológica y minera del país en el Fondo Geológico Nacional, predecesor histórico de la actual Oficina Nacional de Recursos Minerales.

En este escenario y mediante la intensa labor divulgadora y concientizadora del Ing. César Rodríguez Godínez y la voluntad del inolvidable Profesor Diosdado Pérez Franco, Decano de la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana, se produce la captación de tres jóvenes, dos de ellos estudiantes de los últimos años de ingeniería y el tercero recién graduado, para que se convirtieran en los primeros alumnos de la carrera de Ingeniería Geofísica en el año 1963. Estos fundadores fueron Gladstone Oliva

Gutiérrez, Manuel Marrero Faz y Guillermo Hernández Pérez, quienes se graduarían en febrero de 1965, siguiendo un plan de estudios especialmente diseñado para ellos, convirtiéndose así en los primeros ingenieros geofísicos cubanos (Figura 1). Todos fueron formadores de generaciones de geofísicos mediante la impartición de clases, la realización de investigaciones geofísicas y la asesoría de trabajos de diplomas y tesis de maestría y doctorado.



Figura 1. Fotos de los tres primeros egresados de Ingeniería Geofísica en Cuba. De izquierda a derecha los Doctores Manuel Marrero Faz (+), Gladstone Oliva Gutiérrez (+) y Guillermo Hernández Pérez.

Según palabras del propio **César Rodríguez**:

“vimos que para resolverlos problemas del petróleo, el geólogo no era suficiente”. Y agregaba: “Yo tenía la experiencia personal que, para buscar petróleo y gas, además de la Geología, era necesaria la Geofísica”. De esta forma comenzaron los cimientos de la Escuela de Ingeniería Geofísica en la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana, la que contó en sus inicios con la colaboración de especialistas extranjeros, y muy especialmente el Dr. Josef Hladik, geofísico eslovaco, y el profesor mexicano Albar N Barra Senil, quienes desempeñaron un papel protagónico en la formación de los primeros geofísicos cubanos, de conjunto con los profesores de la carrera de Licenciatura en Geología, adscrita a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de La Habana, fundada un año antes, en 1962, la que graduó a sus primeros alumnos en 1966, y que contó con la dirección del Ing. Gustavo Echevarría Rodríguez. Entre estos profesores cubanos vale destacar a la Dra. Ana Luisa Betancourt Morales, el Dr. Gustavo Furrázola Bermúdez, el Dr. Rafael Segura Soto y el Lic. Sergio Paz Morales.

En 1963 también se inician los estudios de Ingeniería Geológica y de Ingeniería de Minas en la Universidad de Oriente, como parte de la estrategia del reciente gobierno revolucionario de crear la masa crítica de los profesionales requeridos para realizar las investigaciones de los recursos minerales del territorio nacional con fuerzas propias.

Al fundarse la Ciudad Universitaria “José Antonio Echeverría” (CUJAE) en diciembre de 1964, y ubicarse en ella a la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana, con una nueva estructura de gestión académica,

queda conformada oficialmente la Escuela de Ingeniería Geofísica, cuyo primer Director fuera precisamente el **Ing. César Rodríguez Godínez**, quien al ser entrevistado en septiembre de 2013 y preguntarle su opinión sobre los primeros alumnos y egresados, expresó:

“Los primeros alumnos graduados de Geofísica sufrieron todos los problemas, carencias, limitaciones de todo lo que surge nuevo, más en aquellas condiciones. La gran mayoría, los mejores, recibían clases en un turno y en el otro daban clases de las asignaturas que se habían recibido en el año anterior. Así se produjo una selección natural. La selección en estos años y el sacrificio trabajando y estudiando produjo que los graduados de Geofísica fuesen resistentes al trabajo y sacrificio, eran brillantes. De esta selección se escogieron a los mejores como docentes, y la vida ha demostrado que fue correcto. El mérito es de ellos por el inmenso esfuerzo que hicieron. Yo he tenido plena confianza en ellos cuando en un momento tenía que salir del país, nombré a un alumno Director y todo funcionó perfectamente. Esos primeros alumnos graduados son los que tienen ahora la difícil tarea de abrir la nueva Escuela de Geofísica”.

Sin un claustro totalmente conformado, sin la base material adecuada, sin textos ni laboratorios, la idea pareciera descabellada, sin embargo, la convicción y la voluntad de aquellos visionarios pudieron llevar a cabo la constitución de la Escuela de Ingeniería Geofísica en 1964, y luego su consolidación y desarrollo. Justamente, en esta misma entrevista, Cesar afirmaba:

“Conociendo la situación histórica existente, como ya se explicó. Las principales tareas eran:

- *¿Cómo se impartía la Geofísica en otros países del mundo?*
- *¿Qué características debían tener la Geofísica y los geofísicos que formaremos?*
- *Hacer el programa de las asignaturas a impartir, cuáles asignaturas y con qué textos.*
- *Obtener los docentes que impartieran las clases y escribieran los textos de las mismas.*
- *Mantener un vínculo con los organismos que necesitarán a los geofísicos y sus características.*

Así contacté con los organismos que buscaban petróleo, con el MINFAR, MININT y las construcciones.

Para enfrentar estas tareas, se me autorizó a contratar docentes del campo socialista. Fui a la República Socialista de Checoslovaquia, a la Universidad Carolina de Praga, a su Facultad de Geofísica, y firmé un convenio donde se comprometían a enviarnos docentes y permitir a enviar a nuestros graduados a superarse allí. También solicité ayuda a la Universidad de Bratislava, donde nos envió al primer docente el Dr. Josef Hladik. Visité la Universidad de Budapest sin ningún resultado.

Si teníamos los docentes y los programas de las asignaturas, aún nos faltaba: por donde estudiar. Los docentes contratados no eran suficientes cuando hubiese que impartir asignaturas del 3º, 4º y 5º años.

No se podían importar textos de los países socialistas por el idioma y de los de inglés de USA ni hablar, además no teníamos dinero para comprarlos.

La solución fue las mejores notas tomadas en clases y revisadas por los docentes, se convirtieron en folletos por los propios alumnos. La necesidad de docentes se resolvió con la formación de alumnos ayudantes que trabajaban en el turno de la tarde y por la mañana impartían docencia que habían recibido en el año anterior. Los mejores alumnos se fueron especializando en las diferentes asignaturas y así se graduaron. Yo fui seleccionando a los mejores para que se quedaran como docentes, y de esta selección estoy muy orgulloso, la vida así lo ha demostrado”.

La segunda generación de ingenieros geofísicos comenzó sus estudios en el año 1964, siguiendo un plan de estudios completo de cinco años, con una fuerte preparación básica, tomando como base de referencia las experiencias en la preparación de los geofísicos en otros países, esencialmente del campo socialista, entre los profesores

que también trabajaron en esta primera etapa se cuentan Z. Novy, J. Danko, M. Kobr, G. Zorzi, A. Zborrill, M. Kopnin, V. Sinitzin, P. Veletski, I. Kluchin y V. Lizanets. Este grupo de nuevos ingenieros geofísicos, graduados en 1969, estuvo conformado por cuatro integrantes: Ariel Pérez, José Antonio García Gutiérrez, Carlos Suyí Ruiz y Francisco Sánchez Menéndez, quienes también contribuyeron en la formación de los nuevos contingentes de geofísicos, bajo la condición de alumnos ayudantes. Particularmente los tres últimos formaron parte del claustro de la Escuela de Ingeniería Geofísica, una vez graduados.

En reciente entrevista realizada a **José Antonio García (Tony)**, expresaba:

“Siempre tuve claro que la ingeniería geofísica era una carrera en formación y no esperaba que contara con un claustro de profesores tan experimentado como el de ingeniería civil, con quien compartíamos edificio en la Cujae desde segundo año. Sin embargo, conservo una buena impresión de muchos profesores de esa época, donde estaban el mexicano Barra, los checos Jládk, Nóvik, Danko y Kobr, el italiano Zorzi con sus nuevos equipos de geofísica, la Dra. Betancourt, siempre brillante, ingenieros de la producción como Marrero y Guillermo Hernández, muy profesionales en sus clases, junto a algunos muy buenos de Ingeniería Civil en topografía y mecánica de suelos, y con el firme apoyo de César Rodríguez y Gladstone Oliva, que tanto hicieron por desarrollar la especialidad. Un aspecto que considero muy positivo de la dirección de César en esa época fue su interés en vincularnos con tareas de producción, de ahí mi participación como estudiante en trabajos de búsqueda de asfaltita en la zona de Mariel, en brigadas de geología de la provincia de Pinar del Río, participación en mediciones geofísicas en la mina Matahambre realizadas por especialistas alemanes y otros trabajos, donde decidí mi vocación por la llamada geofísica de minerales y, posteriormente, ingenieril. Mi grupo fue bastante reducido y siempre compartimos con estudiantes de los grupos que nos sucedían. En particular, recuerdo el grupo de Miró, que sería el tercer grupo de la carrera y el primero numeroso (unos 30 estudiantes), donde convergieron estudiantes de muy variadas características, con un rico anecdotario que se mantuvo vivo hasta mucho tiempo después”.

A partir del tercer contingente de los alumnos de la carrera los grupos fueron más numerosos (Figura 2), pues la Ingeniería Geofísica comenzaba a conocerse en el país, así como se valoraba su importancia para la realización de los estudios de los hidrocarburos y minerales metálicos y no metálicos, las investigaciones hidrogeológicas y de ingeniería geológica, lo que se evidenciaba por la creciente demanda por parte de las entidades empleadoras.



Figura 2. Foto en la que aparecen algunos de los primeros alumnos de la carrera de Ingeniería Geofísica en ocasión de una asamblea estudiantil.

Si bien en 1965 fueron tres los graduados y en 1969 fueron cuatro, ya en 1970 la cifra ascendió a 17 ingenieros geofísicos y en 1972 se logró un récord de 35 egresados, superado posteriormente en las graduaciones de 1981 con 39 y 1994 con 47 egresados (Figura 3). En toda esta primera etapa, desde 1965 hasta 1994, los graduados por la Escuela fueron 584.

Cinco acontecimientos singulares distinguen a esta etapa de la Escuela de Ingeniería Geofísica. En primer lugar, la realización de los trabajos de diploma como una forma de culminación de los estudios de ingeniería geofísica, mediante la dirección científica y metodológica de los profesores extranjeros. El primer acto de defensa realizado en la Cujae tuvo lugar en agosto de 1970 en el



Figura 3. Una parte de los 22 graduados de Ingeniería Geofísica del año 1975 al concluir la defensa de sus trabajos de diploma.

que culminaron sus estudios los alumnos Pablo López López, Guillermo Miró Pagés y José Antonio García Gutiérrez. En segundo lugar, la graduación en este propio año de las primeras cuatro mujeres como ingenieras geofísicas en Cuba: Silvia Valladares Amaro, Hilda Amador Longoria, Aida Azze Pavón y Marlene Fleites Machado. En tercer lugar, la implementación de la modalidad de estudio-trabajo en la enseñanza universitaria para la ingeniería geofísica como principio básico de la pedagogía cubana, lo cual tuvo lugar a partir del año 1971, transformando el modelo de formación profesional, modificando las formas de impartición de las asignaturas y creando una nueva forma de trabajo metodológico. Esto propició un mayor vínculo con las entidades dedicadas a la prospección y exploración de los hidrocarburos y el resto de los recursos minerales, así como a las investigaciones hidrogeológicas e ingeniero geológicas. En cuarto lugar, la impronta de la Escuela de Ingeniería Geofísica en la creación de la Filial Universitaria de Minas de Matahambre en 1972, como parte del proceso de universalización de la enseñanza superior, siendo su primer director el Ing. Gladstone Oliva Gutiérrez, miembro de su claustro, en un esfuerzo conjunto entre la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana (Cujae) y la Universidad de Oriente. Y finalmente, en quinto lugar, la formación de los primeros doctores en ciencias en universidades extranjeras del campo socialista para la creación de la masa crítica nacional imprescindible para la continuación de los doctorados en el país. Ello sucedió a finales de la década de los años setenta y en los primeros años de la década de los años ochenta del pasado siglo, siendo los primeros geofísicos en obtener este título Gladstone Oliva Godínez (1976, Universidad Carolina de Praga), José R. Alfonso Roche (1978, Universidad Carolina de Praga), José A. Díaz Duque (1982, Instituto de Exploración Geológica de Moscú), Manuel Fundora Granda (1982, Universidad Carolina de Praga), José Rodríguez Pérez (1982, Instituto de Minas de Leningrado), Damián Febles Elejalde (1983, Instituto de Minas de Leningrado), César Alaminos Ibarria (1983, Instituto de Exploración Geológica de Moscú). Este hecho propició que en un momento de su desarrollo la

Escuela de Ingeniería Geofísica llegara a poseer un 92% de su claustro con el grado científico de Doctor en Ciencias.

En el año 1976, como parte del proceso de institucionalización del país y en el marco de la universalización de la enseñanza universitaria, la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana se convierte en el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), se crea la Facultad de Ingeniería Civil y en ella el Departamento de Geofísica, heredero de la Escuela de Ingeniería Geofísica.

En esta etapa también tienen lugar dos sucesos adversos para la Escuela y para la formación de los ingenieros geofísicos del país en general. El primero de ellos ocurre en 1975 cuando el Ministerio de Educación (MINED) decide cerrar la matrícula en la Habana de la carrera de Ingeniería Geofísica y pasarla al Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa (ISMMM), quien iniciaría sus actividades docentes un año después. Esta situación quedaría enmendada en 1985 al regresar nuevamente al ISPJAE la formación de los ingenieros geofísicos, gracias a una sólida fundamentación presentada por el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS). Este proceso de ida y vuelta no afectó las graduaciones previstas durante esos años, aunque indudablemente influyó en la calidad de la preparación de los egresados.

El segundo episodio, de mayor trascendencia, tiene lugar en el año 1989, cuando a partir de una serie de consideraciones, el Ministerio de Educación Superior (MES) adoptó la decisión de cerrar definitivamente la carrera de Ingeniería Geofísica, finalizando la admisión de estudiantes a esta especialidad y pasando a la formación de un Ingeniero Geólogo de perfil amplio, que pudiera orientarse eventualmente, atendiendo a las necesidades, hacia la Geofísica Aplicada mediante estudios de postgrado, todo lo cual no resultó en la práctica, pero determinó que durante dos décadas no se formaran ingenieros geofísicos en el país (Figura 4), pues los últimos egresados se producirían en el año 1994, y luego comenzarían a graduarse nuevamente a partir del año 2015.

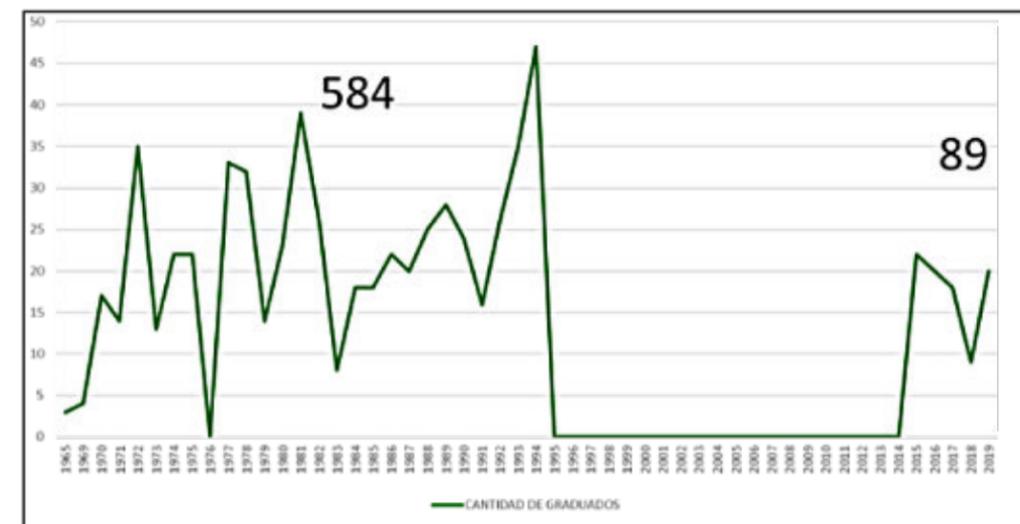


Figura 4. Serie histórica de graduados de ingenieros geofísicos en Cuba a partir de 1965 y hasta 2019.

Durante el transcurso de estos 30 años la Escuela de Ingeniería Geofísica primero, y el Departamento de Geofísica después, contribuyeron significativamente al desarrollo de las investigaciones geofísicas en Cuba, con importantes resultados alcanzados en las ramas de los hidrocarburos, minerales metálicos y no metálicos, estudios hidrogeológicos, ambientales e ingeniero geológicos, por intermedio de la realización de los primeros doctorados que se realizaron en el exterior y también posteriormente en el país a partir de 1986, así como mediante los trabajos de diplomas y los servicios científico-técnicos y trabajos de desarrollo.

Entre 1986 y 1994 el Departamento de Geofísica formó a 12 doctores, todos cubanos, cuatro internos profesores de su claustro, y el resto procedentes de diferentes instituciones nacionales.

En relación con los planes de estudio para la formación de los ingenieros geofísicos en el país, luego del período inicial en que se recogió la experiencia existente, esencialmente en la Unión Soviética y otros países socialistas, se fueron perfeccionando paulatinamente, atendiendo a los requerimientos académicos e investigativos nacionales. De esta forma surgieron los planes de estudio A en 1978 y B en 1985, los que se implementaron satisfactoriamente en esta primera etapa.

En 1990 surge la Comisión Nacional de la Carrera de Geología y con ella el plan C de Ingeniería Geológica, que pretendió integrar todas las especialidades de la Geología y la Geofísica en un solo profesional de perfil amplio, a pesar de que cada una de estas dos carreras estaban muy bien diferenciadas y eran, por sí mismas, de perfil amplio. Este nuevo plan, que se desarrolló en el ISMMM y en la Universidad de Pinar del Río pretendió fortalecer la formación de un Ingeniero Geólogo de un perfil más amplio, con una mayor preparación en los conocimientos y habilidades geólogo-geofísicas en relación con los anteriores planes de estudio, aunque lamentablemente también tuvo una impronta negativa en lo que a la preparación de Ingenieros Geofísicos se refiere, ya que estos dejaron de formarse. El programa provocó el surgimiento de un sistema de postgrado, maestrías, y doctorados en la rama de las Ciencias de la Tierra para llenar los evidentes vacíos que existían en el referido plan de estudios C con relación a la Geofísica Aplicada.

Segunda etapa 1995-2009.

Esta etapa se caracterizó por la ausencia de graduaciones de ingenieros geofísicos en el país, sin embargo, el Departamento de Geociencias, anteriormente de Geofísica, en el ISPAJE dirigió su potencial al desarrollo de importantes investigaciones científicas, así como a propiciar la superación de los egresados de años anteriores, mediante la impartición de decenas de cursos de posgrados, la realización de varias ediciones de la Maestría en Geofísica Aplicada, Especialidad y Diplomados, así como la dirección científica y

metodológica de numerosos trabajos de diploma y tesis de maestría y doctorado.

Precedida por varios cursos de posgrados, dedicados fundamentalmente a distintas temáticas de la exploración geofísica, en 1993 se inició la Maestría en Geofísica Aplicada, cuyos impactos acaecieron precisamente en esta segunda etapa de desarrollo de la Escuela, con diez ediciones. El Programa de Estudios inicial fue perfeccionado en 1997, y en total se logró la formación de 110 graduados, de ellos 37 extranjeros de seis países (Angola, Cabo Verde, Colombia, Sao Tome, Uruguay, Venezuela). En el año 2000, la Maestría alcanzó la condición de ACREDITADA y en el 2009 la de EXCELENCIA.

La incorporación de los estudios de la Maestría en Geofísica Aplicada constituyó un aporte singular en la formación de los especialistas cubanos dedicados a los trabajos de búsqueda y exploración de hidrocarburos y de minerales, sobre todo al cerrarse la formación de ingenieros geofísicos por espacio de dos décadas, pues solo se graduaban ingenieros geólogos, a los que había que preparar para asumir los trabajos de adquisición, procesamiento e interpretación de los datos geofísicos.

De igual forma resalta la impartición de la especialidad de postgrado "Geofísica Petrolera", desarrollada durante el período 2003-2006 en el Centro Politécnico del Petróleo a 15 ingenieros de Cuba Petróleo (CUPET), resaltando la excelencia lograda en el claustro integrado por docentes y/o experimentados profesionales, la calidad del plan de estudios y la concepción pedagógica empleada, así como el 100% de promoción alcanzado en el plazo establecido.

Otro hito importante en la formación de los profesionales de las Geociencias lo constituyó el Diplomado Procesamiento de Datos, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, impartido en varias ediciones y en diferentes territorios: La Habana (tres ediciones), Isla de la Juventud (una edición), Villa Clara (una edición), Cienfuegos (una edición), Ciego de Ávila (dos ediciones) con resultados muy satisfactorios y un amplio reconocimiento de los organismos cuyos trabajadores lo cursaron.

La formación doctoral por parte del Departamento de Geociencias continuó perfeccionándose y en el período que se analiza se titularon 16 nuevos Doctores en Ciencias Geológicas, de ellos nueve internos pertenecientes al claustro de la carrera y los siete restantes procedentes de diferentes entidades dedicadas a las investigaciones geológicas en el país.

Dentro de los resultados científico-técnicos más relevantes se destaca el aporte cardinal realizado por los geofísicos cubanos, entre ellos varios del claustro de la Escuela, en la solución de una tarea de tanta complejidad e importancia histórica como fue la búsqueda y exitoso hallazgo de los restos del Guerrillero Heroico Ernesto Che Guevara y sus compañeros caídos en Bolivia (Figura 5). Los trabajos geofísicos se llevaron a cabo desde enero de 1996 hasta el descubrimiento en junio de 1997.



Figura 5. Foto captada durante los trabajos geofísicos para la localización de los restos del Comandante Che Guevara en Bolivia en la que aparecen los Doctores Carlos Sacasas León, Noel Pérez Martínez y José L. Cuevas Ojeda.

Tercera etapa 2010-2024

A partir del curso escolar 2010-2011 se reiniciaron los estudios de Ingeniería Geofísica en la CUJAE para dar respuesta a las demandas acumuladas de profesionales, tras 16 años de interrupción, desde la última graduación en 1994 (Figura 6). Diversas fueron las gestiones e incontables los esfuerzos realizados por numerosas instituciones y personalidades, así como por los profesores integrantes del Departamento de Geociencias, digno heredero de la Escuela de Geofísica, que se mantuvo en activo durante ese período, resguardando para el futuro, que ya es presente, las experiencias y los conocimientos, para lograr la comprensión en las autoridades competentes de la necesidad de la reapertura de la carrera, en momentos en que la prospección

petrolera en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Cuba en el Golfo de México, requería de una mayor y más efectiva participación de los geofísicos cubanos. Desde entonces se han efectuado diez graduaciones con un total de 188 ingenieros geofísicos, en tanto 88 alumnos cursan actualmente la carrera en el recién iniciado curso escolar 2024-2025 con el nuevo Programa de Estudios E. La primera graduación de esta nueva época de la Geofísica tuvo lugar en el año 2015, con 22 nuevos ingenieros, los que se graduaron con el Plan de Estudios D, vigente hasta los graduados de 2021. En el curso 2017-2018 comienza a implementarse el nuevo Plan de Estudios E de cuatro años, que alcanzó su primera graduación en el año 2021. Es por lo que en este año se superponen dos graduaciones, correspondientes a los Planes de Estudios D y E, de cinco y cuatro años respectivamente.



Figura 6. Encuentro histórico efectuado el 8 de noviembre de 2010 entre el Director fundador de la Escuela de Ingeniería Geofísica, Ing. César Rodríguez Godínez, y el grupo de primer año que reinició la carrera en septiembre de ese año.

El Plan Nacional para el Desarrollo Económico y Social, así como la actividad geológica del país demandan la incorporación de nuevos y mejores graduados en Ingeniería Geofísica, de ahí que la concepción del nuevo Plan de Estudios E de la carrera contemple las nuevas tendencias y los novedosos desarrollos teóricos y tecnológicos de los métodos geofísicos en la actualidad, para dar respuesta a los estudios no solo en la prospección petrolera sino además en la búsqueda y exploración de minerales metálicos y no metálicos, las investigaciones arqueológicas, forenses, hidrogeológicas y geotécnicas, los análisis de riesgos geológicos y geofísicos, los estudios de impacto ambiental y de geosostenibilidad.

En diciembre de 2022 se aprobó por el Ministerio de Educación Superior un nuevo Programa de Estudios para la Maestría en Geofísica Aplicada, cuya primera edición comenzó en abril de 2023 y tiene programado su cierre en octubre de 2025. Este programa además de actualizar y perfeccionar el contenido correspondiente a su predecesor se caracteriza por brindar una mayor atención al eje central, conformado por un grupo de actividades investigativas de amplio espectro que representan el 65% de los créditos totales a obtener con vistas a la defensa de la tesis.

En los últimos años han sido tutoradas nueve tesis de doctorado por profesores del Departamento de Geociencias, todas defendidas exitosamente, tres de aspirantes angolanos y seis de cubanos, una de ellas correspondiente a una profesora del claustro. En todos los casos los temas se vincularon a los proyectos de investigación del departamento y a programas de investigación priorizados en el país. En fecha reciente se aprobó el Programa de Doctorado en Geofísica Aplicada, el cual se inició oficialmente en el curso escolar 2021 (Resolución No. 11 de fecha 13 de septiembre de 2021), para dar continuidad a la formación científica que durante años se ha realizado por la institución. De igual forma se colabora con los doctorados de Ciencias Técnicas en su dimensión ambiental y de Hidráulica en la propia Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae), así como de Geología de la Universidad de Pinar del Río, y con las

Maestrías en Obras Hidráulicas, Estructura e Ingeniería en Saneamiento Ambiental, todos ellos muy relacionados con el medio físico natural que forma parte del objeto de estudio de la carrera de Ingeniería Geofísica y de la Maestría y el Doctorado en Geofísica Aplicada.

En esta etapa se han obtenido tres Premios de la Academia de Ciencias de Cuba, tres Premios Provinciales del CITMA y tres Distinciones Especiales del Ministro de Educación Superior. Los profesores del claustro del departamento han publicado más de 150 artículos científicos, 23 libros o monografías y han presentado más de 310 ponencias a eventos científicos nacionales o internacionales (Figura 7). La relación con el sector productivo o de servicios se materializa mediante proyectos y convenios, con actividades vinculadas a los ejes y sectores estratégicos del país, en particular con el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, el Instituto de Geología y Paleontología y el Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura.

El Departamento de Geociencias tiene firmados convenios o acuerdos de colaboración con las siguientes instituciones: Centro de Investigaciones del Petróleo y Centro Politécnico del Petróleo, Instituto de Geología y Paleontología/Servicio Geológico de Cuba, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, Grupo GEOMINSAL, Empresa GEOMINERA ORIENTE, Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro, Empresa GEOMINERA Camagüey, Oficina Nacional de Recursos Minerales y Empresa Militar de Proyectos e Investigaciones.

Por otra parte, se han desarrollado trabajos o proyectos de investigación con otras entidades como el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, el Instituto de Suelos y GEOCUBA Estudios Marinos. Se mantienen estrechas relaciones de colaboración con otras instituciones del sistema nacional de enseñanza: Universidad de Pinar del Río (UPR), Universidad de Moa, Centro de Investigaciones Hidráulicas de la CUJAE (CIH), Centro de Estudios de la Construcción y Arquitectura

Tropical de la CUJAE (CECAT) y Centro Politécnico del Petróleo de CUPET.

En el contexto internacional el Departamento de Geociencias ha desarrollado diversos tipos de actividades de formación profesional y de colaboración científica con las siguientes instituciones: Universidad Agostino Neto (Angola), la Concertación Regional para la Gestión de Riesgos (Centroamérica), la Universidad Federal de Río de Janeiro (Brasil), Universidad de Almería y Universidad de Alcalá de Henares (ambas de España), Instituto Superior Politécnico Katangoji (Angola), Universidad de la República (Uruguay), Universidad Autónoma "Tomás Frías", de Potosí y Universidad Autónoma "Gabriel René Moreno", de Santa Cruz de la Sierra (ambas de Bolivia). Para la formación académica, se han recibido estudiantes de Angola, Cabo Verde, Colombia, Sao Tomé, Uruguay y Venezuela (maestrías) y de Angola (doctorado).

También puede apreciarse su proyección internacional mediante el trabajo de los profesores del claustro como revisores de artículos y editores de revistas y eventos científicos, tales como: Boletín de Geociencias (Colombia), Earth Sciences Research Journal, Environment, Development and Sustainability Journal (EUA), DYNA (Colombia), Pubindex Colciencias (Base de indexación nacional Colombia), PETROCIENCIAS (Universidad de Oriente, Maturín, Estado Monagas, Venezuela), Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética (CICIC), Congreso Iberoamericano de Ambiente y Sostenibilidad (Ecuador).

La pandemia de la COVID-19 incidió negativamente en la situación epidemiológica del país, lo que conllevó a la suspensión de las actividades docentes a partir de marzo de 2020, afectando la programación del curso 2019-2020, y alterando la sucesión de las actividades formativas hasta su normalización en 2022, lo que condicionó un escenario muy complejo para la realización de las actividades docentes. Ello exigió una dedicación mayor por parte de alumnos y profesores al pasar a la modalidad de estudio a distancia, empleando todos los medios posibles. Paulatinamente se fue ajustando el calendario docente hasta llegar nuevamente a la programación habitual en el presente curso escolar 2024-2025.

Para finalizar esta mirada a los 60 años de la Escuela de Ingeniería Geofísica en Cuba, es menester retomar las palabras de Tony García:

"Con el paso del tiempo cambian las épocas y la mentalidad y aspiraciones de los jóvenes, así como los métodos de enseñanza que aplican los profesores, donde hoy tienen un gran peso las tecnologías de la información y el autoestudio por parte de los educandos. Valoro altamente el trabajo desarrollado por el grupo de profesores que se mantuvo formando parte del Departamento de Geofísica, y que, sin impartir docencia de pregrado durante un largo período, mantuvieron la especialidad con un alto nivel académico y científico. La reanudación de la

carrera es de por sí un gran logro, lo cual me alegró mucho por formar parte del contingente inicial, y solo me queda felicitarlos a todos, a los profesores y estudiantes, por mantener esta bonita y útil especialidad en su proyecto de vida. Finalmente, recordar siempre a los estudiantes que la ingeniería tiene un componente económico muy importante, a veces no tomado en cuenta con el peso suficiente, donde las soluciones deben ser eficaces y racionalmente económicas".

Bibliografía.

Consejo de Ministros de la República de Cuba (2014). Política para el perfeccionamiento de la actividad de investigación geológica y la implementación del servicio geológico de Cuba. (Documento para los medios de comunicación). Aprobado en la sesión del 1º de marzo de 2014.

Departamento de Geociencias (2019). Presentación realizada al Ministerio de Energía y Minas (MINEM) sobre la carrera de Ingeniería Geofísica en octubre de 2019.

Departamento de Geociencias (2022). Programa de la Maestría en Geofísica Aplicada. Universidad Tecnológica de La Habana. Aprobado mediante la Resolución No. 138 del Ministro del Ministerio de Educación Superior de la República de Cuba a los 19 días del mes de diciembre del año 2022.

Departamento de Geociencias (2024). Registro histórico de las graduaciones de ingenieros geofísicos. Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE.

Departamento de Geociencias (2024). Base de datos de los doctores formados por el Departamento de Geociencias, Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE.

Díaz-Duque, J. A. (2013). La Enseñanza de las Geociencias en Cuba. En: Metodología de la Investigación Geofísica. Editorial Universitaria Félix Varela. ISBN 978-959-07-1884-7, 193 pp.

Díaz-Duque, J. A. (2013). Entrevistas realizadas a los fundadores de la Escuela de Ingeniería Geofísica César Rodríguez, Manuel Marrero y Guillermo Hernández en septiembre de 2013.

Díaz-Duque, J. A. y Miró Pagés, G. (2015). A Cincuenta Años del Inicio de los Estudios de la Carrera de Ingeniería Geofísica en Cuba. Boletín de la Sociedad Cubana de Geología, Vol. 15, no. 2, p. 9-12.

Díaz-Duque, J. A. (2024). Entrevista realizada al graduado José Antonio García Gutiérrez (Tony) en noviembre de 2024.



Figura 7. Encuentro histórico con el Director fundador de la Escuela de Licenciatura en Geología de la Universidad de La Habana, Ing. Gustavo Echevarría Rodríguez, con un grupo de estudiantes de Ingeniería Geofísica durante la V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, celebrada en abril de 2013. En la foto también aparecen los Doctores Guillermo Miró Pagés y José A. Díaz Duque.

Facultad de Ingeniería Civil (2024). Base de datos de la matrícula de las carreras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana, CUJAE.

Fonseca Montero, A., Miró Pagés, G., García Sánchez, R., Vega Carreño, M. y Rodríguez Miranda, W. (2015). Experiencias y proyecciones sobre las prácticas de estudio y laborales en la formación de los Ingenieros Geofísicos en Cuba. Referencia Pedagógica. Año 2015, no. 2. ISSN 2308-3042.

Ministerio de Educación Superior (2010). Plan de Estudios "D" de Ingeniería Geofísica. La Habana.

Ministerio de Educación Superior (2017). Plan de Estudios "E" de Ingeniería Geofísica. La Habana.

Miró Pagés, G. y Pérez Lazo, J. (2003). Superación de ingenieros geofísicos en Cuba: breve historia, estado actual y perspectivas futuras. Memorias V Congreso de Geología y Minería La Habana, 2003 CD ROM ISBN 959-7117-11-8.

Miró Pagés, G. y Pérez Lazo, J. (2007). Reflexiones sobre la Enseñanza de la Ingeniería Geofísica en Cuba. III Congreso de Geofísica (GEOFISICA 2007). Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (GEOCIENCIAS 2007).

Memorias en CD-ROM, La Habana, 20-23 de marzo de 2007.

Miró Pagés, G. (2009). Formación de Profesionales En Geofísica Aplicada Situación Actual a Escala Internacional. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (GEOCIENCIAS 2009). Memorias en CD-ROM. La Habana, abril 2009.

Miró Pagés, G. (2009). La Maestría de Geofísica Aplicada: Una breve característica de su desarrollo. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (GEOCIENCIAS 2009). Memorias en CD-ROM. La Habana, abril 2009.

Miró Pagés, G. (2011). La Carrera de Geofísica Cuarenta Años Después. IX Congreso Cubano de Geología (GEOLOGIA 2011). Educación de las Geociencias. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (GEOCIENCIAS 2011). Memorias en CD-ROM. La Habana, abril 2011.

Valcarce Ortega, R. M. y Rodríguez Miranda, W (2015). Formación del Ingeniero Geofísico en Cuba en 4 Años: Una Propuesta Viable y Pertinente. XI Congreso Cubano de Geología (GEOLOGIA'2015). VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (GEOCIENCIAS'2015). Memorias en CD-ROM. La Habana, abril 2015.



Guillermo Miro Pages, defendió su tesis de diploma en Ingeniería Geofísica durante el año 1970 en la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana y su tesis doctoral titulada "Aplicación de los métodos geofísicos, morfométricos y de teledetección a la prospección petrolera" en 1993 en la CUJAE. Tiene 40 años de experiencia de impartición docente de pre y posgrado e investigativa en el campo de la exploración de hidrocarburos. Es autor de decenas de publicaciones científicas y docentes. Ha obtenido numerosos premios y reconocimientos tanto nacionales como internacionales entre los cuales resaltan los siguientes: Orden "Carlos J Finlay", Sello de Oro del Instituto Superior Politécnico (ISPJAE), Premio por Trabajo Relevante en el VIII Fórum Nacional de Ciencia y Técnica, Distinción del Ministro del Ministerio de Educación Superior (MES), Premio Nacional de Ingeniería de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción (UNAICC) en la rama de las Geociencias, Premio de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), Orden Rafael María Mendive, Orden Pepito Tey, Orden Frank País, Distinción por la Educación Cubana, Distinción por el Día de la Ciencia Cubana, Medalla Armando Mestre.



José A. Díaz Duque. Graduado de Ingeniero Geofísico en 1972 en la Facultad de Tecnología de la Universidad de La Habana, hoy Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae). Defendió su doctorado en Ciencias Geológicas en el Instituto de Exploración Geológica de Moscú en 1982. Su extensa experiencia profesional se ha extendido por más de medio siglo, con una amplia trayectoria en la docencia universitaria, formando a cientos de geólogos y geofísicos, a lo que se añade su extensa actividad de investigación científica.

Ha participado o dirigido proyectos en diversos países de Centroamérica, México, Argentina y España. Ha impartido clases o conferencias en universidades de Venezuela, Bolivia, Guatemala, El Salvador y España.

Es autor de ocho libros, seis capítulos de monografías, más de cincuenta artículos científicos y de divulgación científica, y ha participado como ponente o conferencista en cientos de eventos relacionados con las Geociencias. Es árbitro de diferentes revistas nacionales e internacionales.

Ha desempeñado diversas responsabilidades académicas: Subdirector de la Filial Universitaria de Minas de Matahambre, Vicedecano de la Facultad de Tecnología y Vicerrector de Investigaciones y Posgrado de la Universidad de Pinar del Río, Delegado Territorial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en Pinar del Río y Viceministro de este propio ministerio, Presidente del Consejo Científico de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana.

Es fundador de la Sociedad Cubana de Geología, fue Presidente de su Filial Provincial en Pinar del Río (1982-1986) y Presidente de su Junta Nacional (1986-1992). Es miembro de la Asociación Cubana de las Naciones Unidas y de la Sociedad Económica de Amigos del País siendo Presidente de su Consejo Científico (2019-2023). Fue miembro de número de la Academia de Ciencias de Cuba (1998-2012) y es miembro de honor de la Academia Internacional de Ciencias, Tecnología, Educación y Humanidades desde 2019.

Por su labor académica y científica ha recibido numerosos reconocimientos, premios y distinciones entre los que se cuentan: Orden Carlos J. Finlay, Orden al Mérito Julio Antonio Mella, Medalla de la Alfabetización, Distinción por la Educación Cubana, Orden Jose Tey, Medalla de Plata de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Educador Destacado del siglo XX en Cuba, Orden Frank País de Segundo Grado, Miembro Emérito de la Sociedad Cubana de Geología y de la Sociedad Económica de Amigos del País, Premio Nacional Felipe Poey y Premio Nacional Jesús Francisco de Albear.

**BREVE HISTORIA DE LA PRIMERA ESCUELA DE MINERÍA
POST-INDEPENDENCIA DE VENEZUELA Y SU DIRECTOR,
MIGUEL EMILIO PALACIO VISO**

José Antonio Rodríguez Arteaga

rodriguez.arteaga@gmail.com

A MANERA DE PREFACIO

Por iniciativas del militar, político y presidente de los EE.UU. de Venezuela, General Joaquín Sinforiano de Jesús Crespo Torres (1841-1898) -Joaquín Crespo-, se funda la *Escuela de Minas del Yuruari*, esencialmente aurífera, ubicada en la localidad de Guasipati iniciando sus labores el 28 de marzo de 1893.

Este gobernante tuvo la tarea de encontrar un individuo de excepcionales dotes profesionales para conducir los destinos de esta Escuela Minera, recayendo dicha responsabilidad en Miguel Emilio Palacio (1849-1931) natural de la *Villa de Todos los Santos de Calabozo* -actual poblado de Calabozo-provincia de Guárico, Venezuela, quien fuera hijo de Ramón Marcial Palacio y Trinidad Leonarda del Socorro Viso Mirabal (Mariño y Urbani, 2022).

De universitario a ingeniero de minas

Para Palacio Viso (**Figura 1**) no será obstáculo alguno el manejo de las matemáticas y los temas geocientíficos, habiendo iniciado estudios universitarios en Caracas prosiguiéndolos en Londres en donde adquiere el grado académico de Doctor en Ciencias Exactas, ingeniero Civil, además de ingeniero de minas (Mariño y Urbani, 2022:107).

Ya obtenido su grado será *títular y miembro asociado del Real Colegio de Ingenieros Civiles de Londres* y de la Escuela de Minería de los Estados Unidos de América (Palacio 1919, 1937:11).

Marchará a Chile tras y allí revalida sus estudios en ingeniería de minas, (*circa* 1871 y 1875) lo que le permite hacer carrera profesional en empresas sureñas que explotaban carbón, plata, cobre y salitre (Mariño y Urbani, 2022: 199).

Es así que trabajará en:

- (1) **carbón**, minas de *Coronel*,-
- (2) **cobre**, minas de *Coquimbo*,
- (3) **plata**, minas de *Chañarillo*, y
- (4) **salitre**, *empresas salitreras de Tarapacá*.

Es en este país sureño, aprovecha la información sobre *las "Noticias históricas anglosajonas de los yacimientos de oro en tierras del Yuruari"*, y así, toma la decisión de poner rumbo a la Guayana venezolana en 1876, aprovechando el laboreo aurífero pre-existente.

En el Yuruari, ofrece sus servicios para 2 empresas: Chile y Potosí cuya explotación venía de los yacimientos auríferos de El Callao, poniendo en práctica:

- (1) las ciencias en general, y
- (2) la minería, centrada técnicamente en 3 áreas del conocimiento: (a) la geología; (b) el aprovechamiento minero y (c) la rentabilidad del negocio aurífero. Este especial hecho pretendía minimizar la hegemonía británica a finales del siglo XIX en las compañías anglosajonas que hacían vida profesional en el área.

Razones de la existencia de esta Escuela Nacional

Este centro de enseñanza geo-minera será el eje educativo en que funcionará: (1) la enseñanza propiamente dicha, (2) un centro asesor y (3) un servicio válido para la actividad minera aurífera de la región en donde se encontraba. Si bien la producción de oro se incrementaba, había carencia de personal técnico adiestrado, mas Palacio se dedica no solo a la prospección aurífera sino a la vez, a la docencia.

Muy a pesar de sus reconocidos logros esta primigenia institución duró muy corto tiempo, apenas 7 años, de 1893 a 1900, precipitado su final probablemente por el lamentable accidente personal sufrido por su director en 1899.

(...) *En una prospección subterránea, se sintió descompuesto y al subir a superficie sufre un colapso y tras él, una parálisis generalizada que le ocasiona invidencia total (...)* (Mariño y Urbani, 2022:107).

Fallece en 1931 a los 82 años en la población de Tumeremo.

Producto final la minería aurífera de la Guayana venezolana

Es especialmente abundante el hallazgo de material temático en el estudio de yacimientos mineros con la participación activa y efectiva del Dr./Ing. Miguel Emilio Palacio en calidad de prospector y docente a la vez. Dicho material proviene de autores venezolanos sitios en Guayana alguno de ellos, o que hayan desarrollado o desarrollen el tema minero y la figura de Don Miguel como base para sus estudios. Ejemplo lo encontramos en el



Figura 1. Doctor / Ingeniero Miguel Emilio Palacio Viso en 1919 a los 70 años de edad (Fuente: Mariño y Urbani, 2024).

desarrollo del ensayo de Mariño y Urbani en 2022 y su registro bibliográfico intensivamente explicado.

Lo anteriormente expuesto ha llevado a otras fases de investigación como es el encuentro de material variopinto y de contactos personales exponentes de interesantes crónicas del estado Bolívar ya de cronistas locales, ya familiares de Palacio, conocedores del significado que representa el Guasipati de Don Miguel al igual que la Guayana venezolana a manera extensiva en una época en que la minería del oro al SO nacional era la explotable, con mayor o menos empuje a pesar de cada esfuerzo e igualmente han sido capaces de elaborar crónicas de la localidad (*léase*: Mariño y Urbani, 2024).

En forma detallada, Palacio constituye un muy particular personaje en una muy particular labor expuesta de manera genérica en *Venezuela y sus Minas* (*léase* el texto del mismo título). En donde no aparece la Escuela "guasipatense" de Minería.

En Mariño y Urbani (2024) ha sido empleado un especial croquis que por razones obvias no se presenta en este ensayo al estar comprometida su publicación, sin embargo, todo él representa a un poblado casi a finales del siglo XIX en que (...) *se conserva el nombre de los ocupantes de cada parcela, además de su nomenclatura urbana (...)* y que en apenas un muy pequeño recuadro extraído del texto original, (...) *es compartido el espacio de la plaza central del pueblo entre Juan Bautista Dalla Costa*

Soublette, notable civil guayanés con el Libertador Simón Bolívar.

(...) solamente analizando el "dibujo" (**Figura 2**) es merecedor de un gráfico digital del poblado en calidad de ilustración para futuros trabajos sobre minería del estado Bolívar contando con el croquis completo en cuyo trazado se encuentra visible la Escuela Minera y el nombre de Don Emilio.



Figura 2 Croquis de la plaza central del poblado de Guasipati en 1881 (Adaptada de Mariño y Urbani, 2024).

Llegado el 132 aniversario de la fundación de la Primera Escuela de Minas de Venezuela (marzo 28, 1893) y como homenaje a Miguel Emilio Palacio Viso su fundador, será colocada en el lugar en que se dieron los primeros pasos de la *minería aurífera guayanesa* una placa conmemorativa en la historia del centro educativo, gracias a la donación y participación del Ingeniero geólogo Noel Santiago Mariño Pardo y Franco Urbani Patat, miembros de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias, además de Miembro Correspondiente por el estado Bolívar e individuo de número de la Academia Nacional de la Ingeniería y Hábitat y la Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, respectivamente.

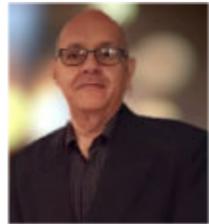
Participarán en dicho acto los Cronistas municipales de Roscio y Sifontes, respectivamente; funcionarios del gobierno local, así como representantes de la familia Navarro, descendientes directos de su primigenio director por intermedio de una de sus hijas, María de Lourdes Palacio Vargas (1897-1987), quién contrajo nupcias con Juan José Navarro Ruiz.

BIBLIOGRAFÍA MÍNIMA

EGAÑA, M. R. 1979. *Venezuela y sus minas*. Banco Central de Venezuela, Colección histórico-económica venezolana, 14:269, Caracas, Venezuela.

MARIÑO PARDO, N. y URBANI PATAT, F. 2022. *Miguel Emilio Palacio Viso (1849 – 1931), un ícono en la minería del siglo XIX en el Yuruari, Guayana Venezolana*, Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, ISSN 1317-6781. Caracas, octubre-diciembre (57): 107 – 124. https://www.researchgate.net/publication/366412764_Miguel_Emilio_Palacio_Viso_1849_-1931_an_icon_in_XIX_Century_Mining_in_Yuruari_Federal_Territory_Venezuela, [Documentación en línea], (noviembre 14, 2024).

MARIÑO PARDO, N Y URBANI PATAT, F. 2024. *Miguel Emilio Palacio: nuevos datos sobre la primera escuela de minería fundada en Guasipati, estado Bolívar. Venezuela*. Jornadas de Investigación de la Facultad de Ingeniería. encuentro académico-industrial JIFI2024, noviembre 2 28 al 29, 2024, 8p.



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

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

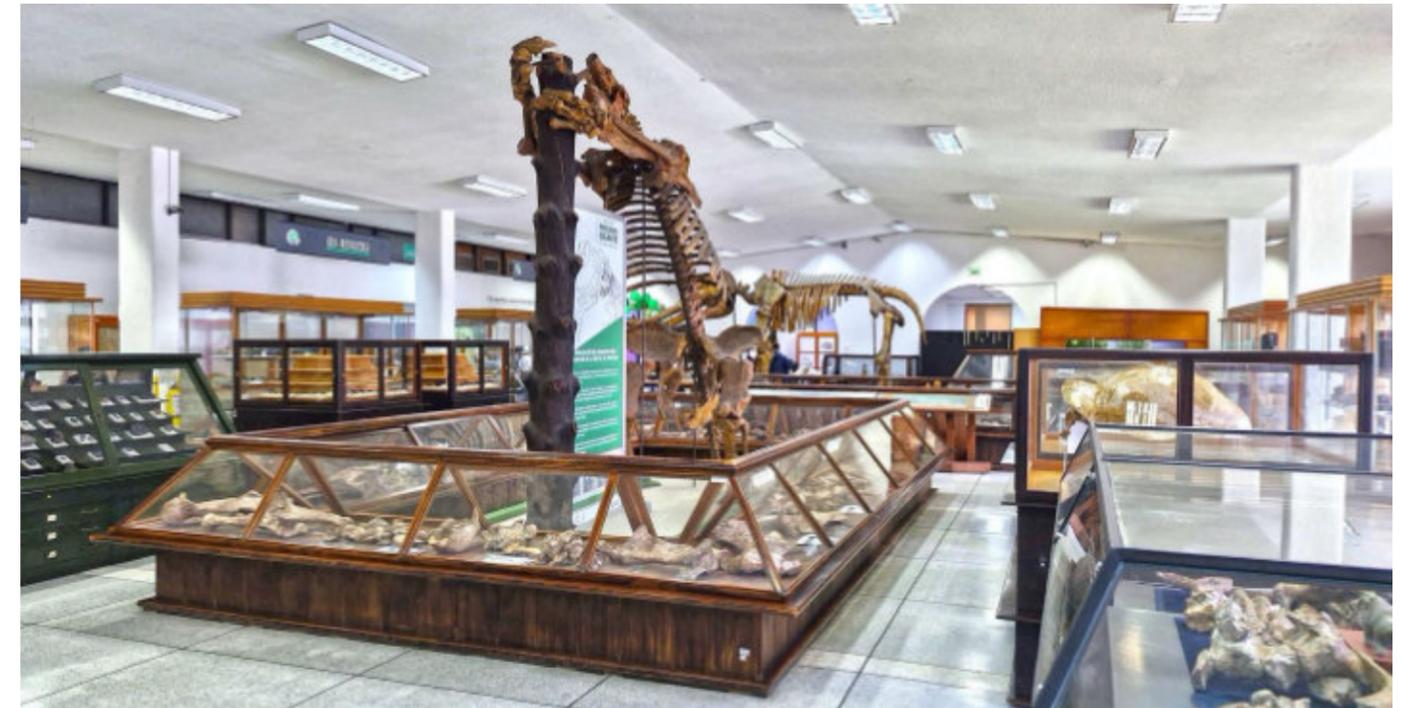
Metalogenia, Ecuador y Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos en Colombia. Tiene en su haber como autor y coautor, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sismológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central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

rodriguez.arteaga@gmail.com

UNA VISITA AL MUSEO GEOLÓGICO JOSÉ ROYO Y GÓMEZ DE BOGOTÁ (COLOMBIA)

JHONNY E. CASAS

Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



INTRODUCCIÓN

El Museo Geológico Nacional "José Royo y Gómez" es un museo dedicado a la geología y a la paleontología. El mismo, se encuentra adscrito al Servicio Geológico Colombiano (SGC). La sede principal de el museo, esta localizada a un lado del edificio del SGC, ubicado en la Diagonal 53 N° 34-53, dentro de las instalaciones del campus de la Universidad Nacional, en la ciudad de Bogotá. Cuenta también con pequeñas sedes en las ciudades de Cali y Medellín.

El Museo Geológico de Bogotá es el más importante del país, y reúne extensas colecciones de fósiles, rocas y minerales. Dentro de sus exhibiciones se incluyen dioramas que reconstruyen los ambientes y organismos extintos de diferentes periodos geológicos. Algunas de las piezas más interesantes de la colección paleontológica incluyen los montajes del esqueleto de un mastodonte, de un perezoso gigante y de un plesiosauro.

El Museo Geológico Nacional, sin ser muy grande, cuenta con un área de exposición de 840 m², donde ha recopilado y resguardado una importante colección de

fósiles y minerales, con más de 40.000 piezas correspondientes al patrimonio geológico y paleontológico de las diferentes eras geológicas, y que muestran la historia de la investigación y la riqueza paleontológica de Colombia. El museo se encarga no solo de la conservación y exposición de dichas piezas, sino también de la investigación en el campo geocientífico del país.

Se ofrecen exposiciones temporales y permanentes al público para que pueda encontrar variedad durante todo el año. La exposición permanente está compuesta por aproximadamente 3.000 piezas que abarcan desde diversos tipos de organismos fosilizados, complementado con ejemplares de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas. Además, ofrece una biblioteca con abundante información sobre diferentes temas relacionados con geología.

La entrada al museo es completamente gratuita, con solo mostrar una identificación. Existen visitas guiadas que pueden ser solicitadas con anticipación, tanto para grupos como para visitantes ocasionales. Además, existe asesoría para estudiantes que realicen trabajos

de investigación, incluso acceso a estudiantes e investigadores que deseen acceso a algunas de las colecciones allí contenidas.

En sus pasillos se respira la historia de millones de años distribuida en diferentes colecciones, que desde hace más de ochenta años brindan a los colombianos y visitantes extranjeros, un viaje al pasado y a las riquezas que se han hallado en territorio colombiano.



Entrada al Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez.
Foto con el autor.

HISTORIA DEL MUSEO

La historia del Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez, uno de los más antiguos en su especialidad en Colombia, se inició cuando el gobierno nacional, encabezado por el entonces presidente de la República Dr. Eduardo Santos, creó, mediante el Decreto 2404 del 31 de diciembre de 1938, el Museo Geológico Nacional; pero no sería sino hasta abril de 1939, con la llegada a Colombia del Dr. José Royo y Gómez, connotado geólogo español, que iniciaría sus funciones como director, en el edificio conocido como La Flauta, ubicado en plaza de los Mártires, en el centro de Bogotá.

El arribo del Dr. Royo y Gómez, permitió el comienzo de múltiples trabajos científicos junto a los geólogos

Benjamín Alvarado Biester y Enrique Hubach Eggers, considerados todos ellos, los “padres” del Servicio Geológico Nacional del Ministerio de Minas y Petróleos de Colombia. Allí, y junto a ellos, José Royo y Gómez, organizó y catalogó por primera vez las colecciones de rocas, minerales y fósiles existentes.

A lo largo de la década de los años cuarenta, el Dr. Royo y Gómez desarrolló la planificación del museo, ordenada por tipologías (rocas, minerales y fósiles), que pudo estructurar en la primera sede que tuvo el museo. En la primera planta de esa edificación en La Flauta, se ubicaron los talleres de estratigrafía y paleontología, así como los laboratorios de mineralogía, petrografía y geología económica. En la segunda planta del edificio se encontraban el laboratorio de paleontología, la biblioteca, los despachos, la sala de paleontología y geología estratigráfica “Joaquín Acosta”, y tres salas de mineralogía y petrografía bautizadas “Humboldt”, “Codazzi” y “Scheibe”. Como resultado de todo este esfuerzo y trabajo, para el año 1950, el museo se encontraba totalmente conformado.

También durante la década de los años cuarenta tuvieron lugar expediciones con el patrocinio de la Universidad de California (Berkeley), bajo la dirección del jefe de paleontología Dr. Ruben A. Stirton (1901-1966) y del Servicio Geológico Nacional de Colombia, representado por el Dr. Royo y Gómez.

La denominada Comisión de Vertebrados efectuó diversas expediciones entre 1944 y 1949, en los departamentos de Tolima, Huila, Cundinamarca y Boyacá, y en ella se colectaron importantes ejemplares paleontológicos, entre los cuales destacaron un esqueleto fósil de plesiosaurio encontrado en Villa de Leyva (Boyacá), así como los restos de un perezoso gigante o Eremoterium y un primate proveniente de Villavieja (Huila). El mencionado Eremoterium motivó el inicio de las actividades divulgativas del museo, ya que, tras el montaje de su réplica, culminada en 1947, se comenzaron a implementar visitas dirigidas al público universitario.

En 1951, el Dr. Royo y Gómez se traslada definitivamente a Venezuela. Así, luego de doce años de estar al frente del Museo Geológico del Servicio Geológico Nacional de Colombia, abandona el país por motivos de salud, dejando como legado un museo totalmente conformado y un equipo de trabajo compuesto por catorce personas. A su partida, dejó a

cargo del museo al geólogo, mineralogista y profesor Luis Felipe Rincón Sáenz, quien continuó su legado al frente del museo por varias décadas entre 1952 y 1987.

En los años sesenta, el museo se traslada a su sede actual, ubicada en la Ciudad Universitaria de Bogotá, donde poseería instalaciones más amplias que las de que poseía en La Flauta, lo que le permitió exhibir grandes e imponentes vertebrados, y una mayor cantidad de piezas, entre las que se destacarían ejemplares paleontológicos emblemáticos, como el plesiosauro, un cráneo de ictiosauro, tortugas fósiles, ammonites diversos, un árbol silicificado (xilópalo) de gran tamaño, restos de mastodontes y el modelo de esqueleto fósil de un Eremoterium. Esta valiosa colección consolidó al museo como guardián del patrimonio geológico y paleontológico de Colombia.

En 1995 y con motivo de la celebración del centenario del natalicio del Dr. José Royo y Gómez, cambió de nombre a Museo Geológico Nacional “José Royo y Gómez”, y a partir de esa fecha, ha desarrollado una intensa actividad, con numerosas publicaciones educativas en paleontología y geología, así como ilustraciones científicas con contenidos especialmente diseñados para niños y jóvenes. También ha publicado diversos folletos sobre los grandes vertebrados que exhibe el museo, como el eremoterio, el plesiosauro, el ictiosauro y los mastodontes, además de infografías y dioramas sobre las eras Mesozoica, Paleozoica y Cenozoica

Con la consolidación del Servicio Geológico Colombiano como autoridad en la protección y preservación del patrimonio geológico y paleontológico de Colombia, entre los años 2010 y 2015 el Museo Geológico José Royo y Gómez modificó su exhibición, incluyendo nuevo mobiliario para muestras de minerales de diversas partes del mundo, así como una vitrina histórica.

EL DR. JOSÉ ROYO Y GÓMEZ

En la visita realizada al museo se pueden observar varios afiches con información histórica acerca de su fundador el Dr. José Royo y Gómez.

José Royo y Gómez fue uno de tantos científicos que tuvieron que exiliarse con motivo de la guerra civil española. Había nacido en Castellón de la Plana el 14 de mayo de 1895. Efectuó sus estudios en la Universidad Complutense de Madrid, con calificaciones sobresalientes. En 1921 se doctoró con la tesis titulada

“El Mioceno continental ibérico y su fauna malacológica” y al año siguiente ganó por oposición la plaza de profesor encargado de los cursos prácticos de Mineralogía y Geología del Museo de Ciencias Naturales. En 1927 fue nombrado vicepresidente de la Sociedad Geológica de Francia y agregado del Instituto Geológico y Minero de España. En 1930 ocupó el puesto de jefe de la Sección Especial de Paleontología del Museo de Ciencias Naturales de Madrid.

El Dr. Royo y Gómez fue un científico preocupado por la educación de los españoles y fue un convencido de que la ciencia solo se desarrolla y hace llegar sus beneficios al pueblo en un sistema político de libertades, por lo que optó por apoyar al gobierno de la II República, considerando que sólo en su ámbito era posible este ideal, así que se hizo militante del partido Izquierda Republicana. Al proclamarse la República en 1931 inició una notable actividad política donde militó en el Partido Acción Republicana, siendo nombrado miembro de su Consejo Nacional y por el que fue elegido diputado en Cortes por Castellón desde 1931 hasta 1933. En 1936, casi coincidiendo con el inicio de la Guerra Civil fue nombrado Director General de Minas y Combustibles.

En enero de 1939, logró huir junto a otros españoles, entre los que se pueden mencionar al famoso poeta sevillano Antonio Machado Ruiz, al que logró que admitieran en un camión de transporte, en una interminable caravana de miles de españoles huyendo de la guerra, hacia la frontera con Francia y al que no volvería a ver, ya que Machado fallecería un mes después. Inmediatamente se dirigió a Toulouse, Francia, ciudad en la que vivirá tres meses, para luego emprender un largo viaje llegando a Colombia como exiliado político de la Guerra Civil Española.

En Colombia, Royo y Gómez encontró la oportunidad de continuar su investigación geológica con la misma dedicación que caracterizó su labor en España. Durante sus años de labor de campo y de laboratorio en el Servicio Geológico Nacional de Colombia, fue nombrado geólogo Jefe de Comisión de Terreno y Jefe de la Sección de Paleontología y Estratigrafía, lo que le lleva a promover la instauración oficial de la asignatura de Geología en ese país. Además, fundó y fue nombrado Director del nuevo Museo Geológico Nacional de Colombia.

La labor de este geólogo y paleontólogo español en Colombia durante los doce años que residió en dicho

país (1939-1951), fue inmensa ya que aprovechó el amplio campo de acción que representaba ser el primer paleontólogo y bioestratigrafo de alta formación académica, que trabajaba institucionalmente en ese país. A partir de 1946 desempeñó el cargo de profesor de Geología y Paleontología del Cuaternario en el Instituto Etnológico y fue profesor de Geología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, desde su fundación en 1947.



Afiche descriptivo dentro del museo, resaltando diversas facetas del Dr. José Royo y Gómez.

En abril de 1951, a sus 55 años de edad, Royo y Gómez se marcha a Venezuela, pues la altura promedio de Bogotá, de 2.600 metros, afectó seriamente tanto su salud como la de su esposa Inocenta González. Desde 1951 hasta su muerte a los 66 años, el 30 de diciembre de 1961, fue profesor titular de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia, de la Universidad Central de Venezuela, institución en la que se fundaría un nuevo museo de geología en el año de 1951 [1].



Afiche dentro del museo, con fotografía del Dr. José Royo y Gómez durante una expedición en búsqueda de vertebrados.

La creación del Museo Geológico de Colombia es su obra institucional más importante; y en él José Royo y Gómez recolectó, clasificó, estudió y exhibió muestras

de fósiles, minerales y rocas con los objetivos de identificar y dar a conocer la riqueza geológica de ese país. Muchos años después, Colombia sabría agradecer y honrar la labor de este insigne científico otorgando su nombre a la institución museística.

FÓSILES RESALTANTES DE LA COLECCIÓN DEL MUSEO ROYO Y GÓMEZ

Callawayasaurus colombiensis (Plesiosauro)

Durante muchas décadas, la exhibición de un plesiosauro, un reptil marino de casi 6 m de largo en el Museo Geológico José Royo y Gómez, cautivó las miradas de los visitantes por su largo cuello, su pequeño cuerpo y cuatro aletas. *Callawayasaurus* vivió en mares someros del Cretácico, donde nadaba bajo el agua buscando sus presas, posiblemente calamares, camarones y peces diversos. *Callawayasaurus* fue un plesiosauro elasmosáurido, de 8 m de largo y un peso estimado de 1,3 Tn, que habitó el mar epicontinental colombiano durante el Aptiense (Cretácico inferior), hace entre 125 y 113 Ma.

Durante las primeras décadas, para los visitantes del plesiosauro hallado en 1949 y desplegado en el museo, una mirada más profunda y curiosa les permitía darse cuenta de que el cráneo de ese espécimen tenía una textura diferente, más negro y más brillante. Los paleontólogos sabían la razón: era una réplica, y el original se encontraba almacenado en el Museo de Paleontología de la Universidad de California (UCMP) en Berkeley.

El paleontólogo y profesor del Departamento de Geociencias de la Universidad de los Andes, Leslie Noé, experto en pliosauros y plesiosauros, con recursos de su universidad, viaja al Museo de Paleontología en California en 2017. Revisando los archivos del museo descubrió que en 1938, durante los trabajos de exploración de la Richmond Petroleum Company, reportaron material paleontológico que llamó en su momento, la atención de la comunidad científica estadounidense. Pero son los geólogos de la Tropical Oil Company quienes hallan el primer plesiosauro, el 11 de enero de 1945. El esqueleto fue encontrado en la loma La Catalina, en sedimentos de la Formación Paja, a unos 6 km al oeste de la población de Villa de Leiva. Los geólogos lo excavan, y ese mismo año el propio José Royo y Gómez, entonces director del Museo Geológico lo entrega al Museo de Paleontología de la Universidad de California para su estudio.

El 19 de enero de 1949 la expedición encontró otro espécimen de *Callawayasaurus* en la misma localidad y muy cerca de donde se había dado el primer hallazgo cuatro años antes. Este nuevo ejemplar (paratipo) estaba mejor conservado, por lo que su cráneo fue solicitado en calidad de préstamo por los investigadores de la Universidad de California para completar los estudios del holotipo [2], aunque en esta ocasión solamente viaja el cráneo del nuevo hallazgo y en calidad de préstamo, un préstamo que nadie se imaginó que duraría casi 70 años. El paleontólogo S. Wells, de la Universidad de California, sería el encargado de preparar y armar las piezas; y en contraprestación provee al Museo Geológico de una réplica, comprometiéndose a entregar el cráneo original una vez terminara su estudio que culminaría con una publicación en la literatura científica, lo cual efectivamente sucedió en 1962 bajo el título “A new species of elasmosaurus from the aptian of Colombia and a review of the cretaceous plesiosaurs”, y en él se describen y nombran los restos de plesiosauros hallados en Colombia para la época [2].



Con una longitud total de ocho metros, tres de los cuales son del cuello, el *Callawayasaurus colombiensis* es un elasmosaurio cretácico del orden plesiosaurio, reconocido por su cuello largo y cabeza pequeña

Todos estos hallazgos los comparte Leslie Noé con su colega Marcela Gómez, paleontóloga a cargo del Museo del Servicio Geológico Colombiano para la época, y luego ella presenta el caso a los miembros del Comité de Dirección del SGC, procediendo la institución a reclamar la pieza fósil. Luego de un proceso que duró varios meses, Gómez viajó a California y pocos días después aterrizó de regreso en Bogotá, pero ahora con el cráneo. Esa semana la pareja de paleontólogos, y con el apoyo de otros colegas del museo, abrieron la valija, desempacaron una a una las diferentes piezas y armaron el rompecabezas hasta ensamblar el cráneo completo del *Callawayasaurus colombiensis* que actualmente podemos ver en el museo.

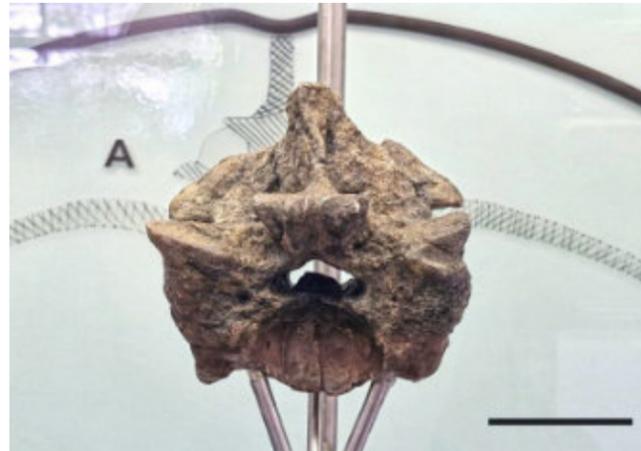
Titanoboa cerrejonensis (Boa)

En el vasto escenario del Paleoceno sudamericano, hace aproximadamente 60 Ma, un reptil gigante serpenteaba silenciosamente marcando su territorio como el depredador supremo de su tiempo: la Titanoboa. Los restos fosilizados de la colosal serpiente de una tonelada, emerge de las capas geológicas del pasado para asombrar con su tamaño imponente, la historia de la evolución [3 y 4].

El sorprendente descubrimiento de *Titanoboa* fue realizado por un equipo de científicos que trabajó en una de las minas de carbón a cielo abierto más grandes del mundo en la región de La Guajira, en el extremo norte de Colombia y la frontera con Venezuela. En primera instancia, en el lugar se encontraron restos de animales como cocodrilos, tortugas gigantes y peces, tres veces más grandes de los actuales. Luego, al toparse con una vértebra enorme en el año 2007, los investigadores decidieron intensificar las excavaciones en ese sitio. Si bien en un principio los paleontólogos supusieron que se trataba de los restos de un cocodrilo, el equipo determinó más tarde que se trataba de la serpiente más grande jamás descubierta [3 y 4].

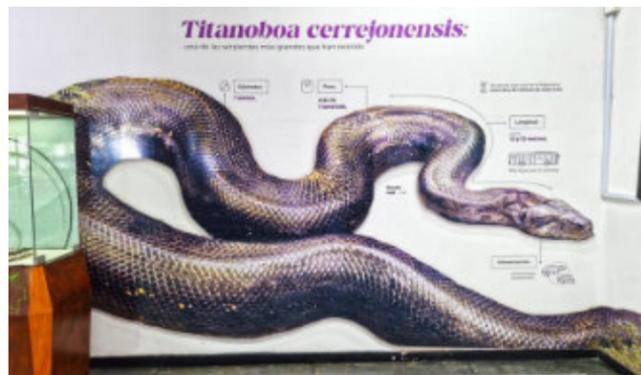
Los paleontólogos han estimado que la longitud corporal de esta serpiente adulta promedio era de aproximadamente 13 m, su diámetro de 1 m, con un peso que rondaba los 1.100 kg. En comparación, las anacondas adultas miden en promedio unos 6,5 m de largo, mientras que las anacondas mas grandes que se han reportado alcanzan alrededor de 9 m de largo. El ambiente selvático de hace 58 millones de años revela que esta serpiente de apariencia similar a la de una boca constrictor en la actualidad; se movía con facilidad tanto en la corriente de ríos como en pantanos, por lo

que probablemente se trataba del mayor depredador de la selva del Paleoceno.



Vertebra de *Titanoboa cerrejonensis*. Escala 6 cm.

En medio del yacimiento de carbón, un grupo de paleontólogos encontró evidencia de plantas fosilizadas en el sitio en 2002, el primer indicio de que hace unos 58 millones de años, Cerrejón era una densa jungla con animales y plantas que doblaban en tamaño a los conocidos hoy. Durante los siguientes años, los paleontólogos confirmaron las sospechas iniciales, Cerrejón concentraba una riqueza fósil de un bosque tropical con plantas y reptiles que habitaron Colombia cinco millones de años después de la desaparición de los dinosaurios [3 y 4].



Mural mostrando a tamaño natural, la *Titanoboa cerrejonensis*. *Titanoboa* (del griego Titán), que significa gigante; y boa que viene del grupo de grandes serpientes al que pertenece, mientras que *cerrejonensis* proviene de Cerrejón, la localidad del hallazgo, en el municipio de Albania, La Guajira.

Después de hallar vértebras, costillas y fragmentos de cráneo de unos 29 ejemplares, el equipo descubrió tres cráneos que ayudaron a crear la primera representación precisa de cómo lucía una Titanoboa en su ambiente

natural. Como las boas de la actualidad, la Titanoboa no utilizaba veneno para inmovilizar a sus presas, en su lugar, sus poderosos músculos ejercían una fuerza de constricción suficiente para colapsar el sistema circulatorio de sus víctimas en cuestión de segundos [3 y 4].

***Monquirasaurus boyacensis* (Pliosauo)**

Monquirasaurus boyacensis también fue conocido durante muchos años como "*Kronosaurus*" *boyacensis* por su aparente relación con el género *Kronosaurus*, (otro pliosaurio gigante descrito en el Cretácico inferior de Australia). *Monquirasaurus* fue el máximo depredador de los ecosistemas marinos del margen noroccidental de Gondwana durante el Aptiense. Sus restos fueron descubiertos en la vereda Monquirá, cerca de Villa de Leiva en lo que fue un antiguo ambiente costero de aguas someras, hace entre 125 y 112 Ma. Los *Monquirasaurus* hallados probablemente representan individuos adultos que vivieron en un ambiente costero donde eran el principal depredador en dichos ecosistemas marinos [5].



Dos vistas del cráneo de *Monquirasaurus boyacensis*, un pliosaurio del orden plesiosaurio, al que se identifica por su cuello corto y cabeza grande. Sus dientes miden varios cm de largo.

Los rasgos craneales sugieren que *Monquirasaurus* era un nadador veloz de larga distancia que se impulsaba

principalmente usando sus extremidades traseras y moviendo su corta cola de forma vertical, acechando y cazando sus presas mientras las perseguía en aguas abiertas, siendo más eficiente en el nado sostenido que otros pliosáuridos más pequeños. *Monquirasaurus* seguramente podía consumir presas de gran tamaño en proporción a su propio tamaño corporal, como elasmosáuridos, ictiosaurios y otros pliosaurios con los que compartió su hábitat. Los ejemplares hallados cerca de Villa de Leiva, probablemente alcanzaron los 9 m de longitud y pesar alrededor de 8 toneladas, lo que lo convierte en uno de los pliosáuridos más grandes conocidos [5].

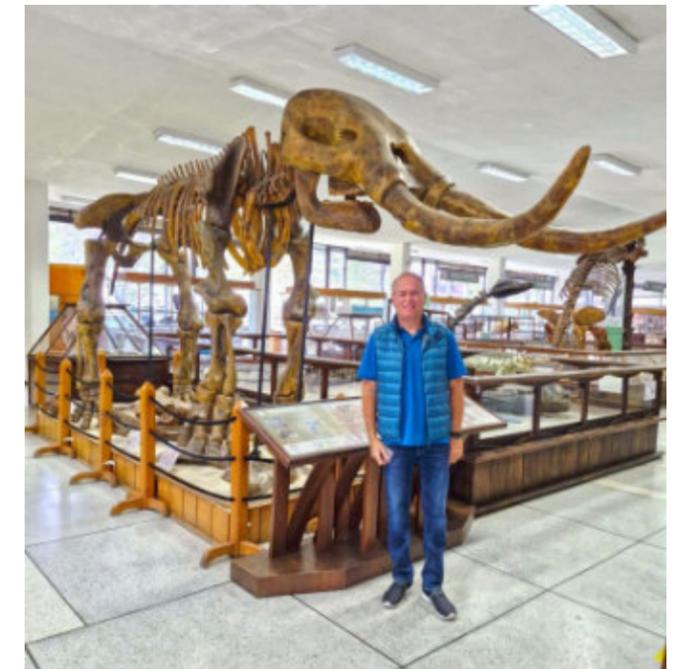
Los restos óseos más completos de *Monquirasaurus boyacensis* se exhiben actualmente en el mismo lugar donde fueron originalmente hallados, en el Museo Comunitario El Fósil, construido y administrado por la comunidad local [5].

***Notiomastodon platensis* (Mastodonte)**

Durante la colonia algunos cronistas españoles mencionaron el descubrimiento de huesos enormes atribuidos, por las culturas precolombinas, a razas de gigantes que habían poblado tierras americanas en épocas ancestrales. La primera mención de hallazgos de este tipo en Suramérica pudiera atribuirse al capitán Juan de Olmos en 1543 mientras realizaba una excavación en el valle de Puerto Viejo, en el entonces Virreinato del Perú, mientras que la primera referencia escrita, pertenece a el cronista Pedro Cieza de León en 1553 quién narra el mito de la llegada en balsas de una raza de gigantes a la punta de Santa Elena y sostiene que el hallazgo de estos enormes huesos son la prueba de la antigua existencia de razas de gigantes en los Virreinos del Perú y de Nueva España [6].

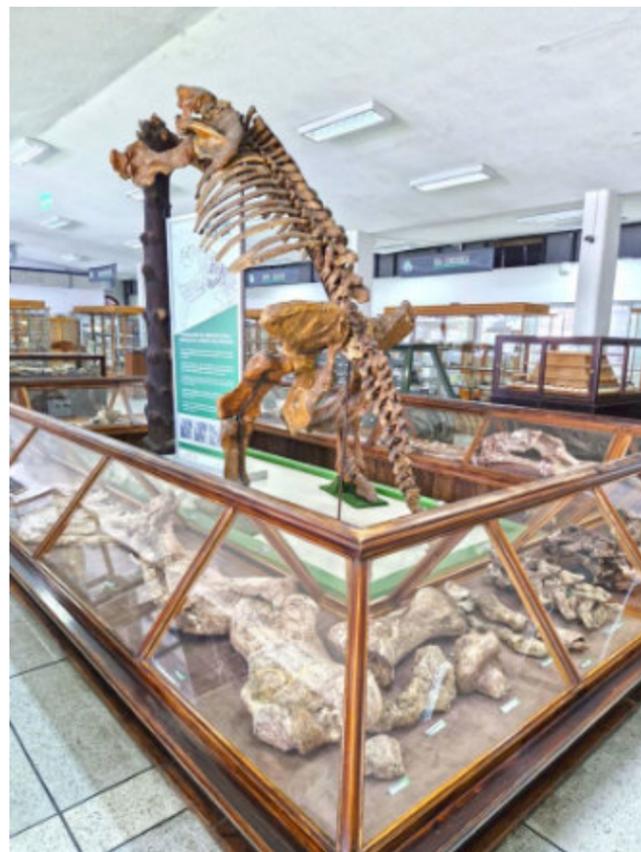
Los registros de proboscídeos en Colombia presentan un amplio rango de distribución que va desde las altas montañas de las cordilleras, a las zonas bajas de la costa caribeña. La mayoría de registros provienen de la región andina siendo muy abundantes en la sabana de Bogotá y el valle interandino del río Cauca [6]. Es posible que manadas de proboscídeos hubieran usado las cordilleras como corredores migratorios, aunque seguramente preferían las zonas más bajas de los valles interandinos que funcionaron en la época, como un corredor seco, y que facilitaron la dispersión de los proboscídeos hacia el sur durante el llamado Gran Intercambio Biótico Americano (GIBA), evento que

permitió el cruce de fauna entre Norte y Sudamérica tras el surgimiento del istmo de Panamá [6].



Réplica de *Notiomastodon platensis*, de 2,5 m de alto. Gran cantidad de restos de estos mastodontes han sido encontrados en Cundinamarca; en capas de la Formación Mondoñedo (17.000 a 20.000 años). El autor como escala.

El levantamiento del mencionado istmo, permitió que grupos de estos proboscídeos cruzaran el Darién, internándose en territorio colombiano para desde allí dispersarse a través de diferentes rutas migratorias, que los llevaría muy al sur, hasta alcanzar las pampas argentinas, generando una amplia distribución y ocupando ecosistemas con diversas condiciones climáticas que iban de frías y cálidas a húmedas y semiáridas (los Andes tropicales, la selva amazónica, el Gran Chaco, la región pampeana y los litorales costeros). Seguramente algunas manadas se instalaron en lo que es hoy día el territorio colombiano y se convirtieron en un elemento importante en los ecosistemas del Pleistoceno, como lo atestiguan los numerosos hallazgos de restos fósiles de estos animales, hallados en prácticamente toda la geografía colombiana. De las dos especies de proboscídeos registradas para Suramérica, ambas han sido descritas en Colombia, con una mayor abundancia de restos de ejemplares de *Notiomastodon platensis*, los cuales habitaron las actuales regiones del Valle del Cauca, Norte de Santander, Boyacá y Nariño [6].



Eremotherium laurillardii de 5 m de alto, conocido como el Perezoso gigante de Villavieja. Fue encontrado en 1945 en la quebrada Las Lajas, municipio de Villavieja (Huila). Se extrajeron alrededor de 116 huesos, sin embargo, nunca se encontró su cabeza.



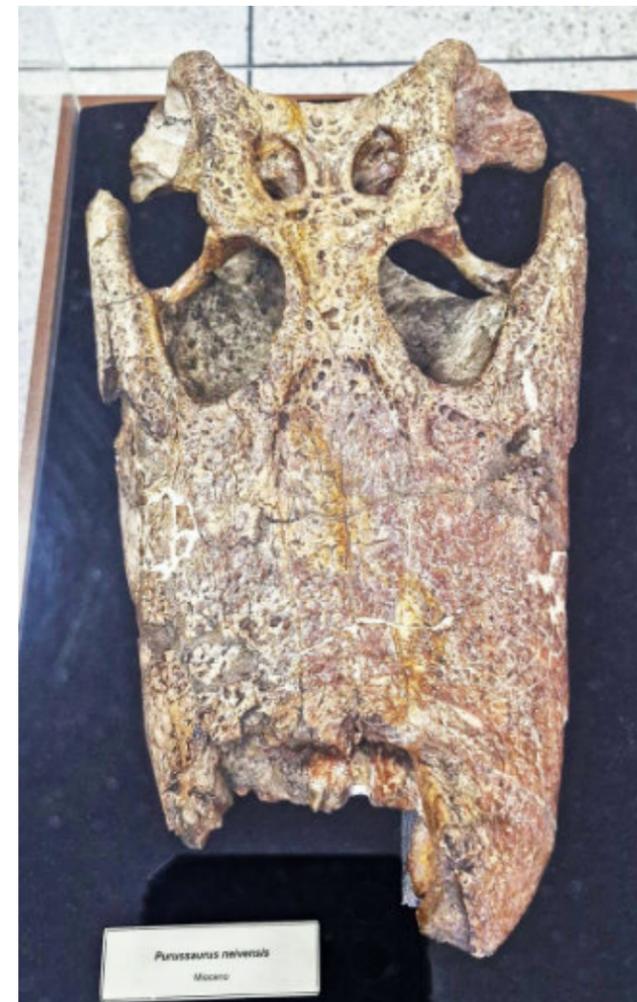
Heminautilus es un genero extinto de nautiloideos que vivieron durante el Cretácico inferior, principalmente entre el Barremiense y el Aptiense. En la fotografía puede verse el Hipotipo de *Heminautilus etheringtoni*.



Cráneos y mandíbulas pertenecientes a *Gryposuchus colombianus*, del orden Crocodylia. *Gryposuchus* es un género extinto de crocodiliano gavialoide. Sus fósiles han sido hallados en varios países de Suramérica, como Argentina, Colombia, Venezuela, Brasil y Perú. El género existió durante el período Mioceno temprano a medio (Colhuehuapiense al Huayqueriense).



Cráneo y parte anterior del cuerpo de un pez óseo del grupo Tselfatiodei, especie *Bachea huilensis*, hallado en el río Bache, Huila. Barra de escala arriba a la derecha 3 cm.



Cráneo de *Purussaurus neivensis* encontrado capas del Grupo Honda, en la región de Neiva. *Purussaurus* es un género extinto de cocodriliano. Se trata de un caimán gigante que vivió en Suramérica, hace 13-8 millones de años, en el período Mioceno. Algunos paleontólogos estiman que el cuerpo entero pudo medir entre 8 y 13 m, aunque podía ser incluso mayor, convirtiendo al *Purussaurus* en uno de los mayores cocodrilos que se conozcan.



Algunos ejemplares de la colección de rocas ígneas. Granitos y pegmatitas de diversas partes del mundo.



Berilos (esmeraldas) incrustados en calcite y pirita. Localidad de Muzo, Boyacá.

Referencias

- [1] Falcon, A., Mikaty, M. y Silva-Aguilera, C. 2023. Historia del Museo Geológico Dr. Jose Royo Y Gómez - History of the Geological Museum Dr. Jose Royo Y Gómez. IX Jornadas Venezolanas de Historia de las Geociencias. 1-2 p https://www.researchgate.net/publication/375530008_HISTORIA_DEL_MUSEO_GEOLOGICO_DR_JOSE_ROYO_Y_GOMEZ_HISTORY_OF_THE_MUSEUM_GEOLOGIST_DR_JOSE_ROYO_Y_GOMEZ
- [2] Natgeo (2023). Titanoboa: la serpiente de una tonelada que vivió en Latinoamérica y fue la más grande del mundo Recuperado 11 de noviembre de 2024. <https://www.nationalgeographicla.com/animales/2023/11/titanoboa-la-serpiente-de-una-tonelada-que-vivio-en-latinoamerica-y-fue-la-mas-grande-del-mundo>
- [3] Natgeo (2021). Titanoboa: así era la serpiente gigante de 15 metros de largo y una tonelada descubierta en Colombia. Recuperado 11 de noviembre de 2024. <https://www.ngenespanol.com/animales/titanoboa-asi-era-la-serpiente-gigante-de-15-metros-de-largo-y-una-tonelada-descubierta-en-colombia/>

[4] Abadia, F. (2024). Elasmosáuridos, plesiosaurios de cuello largo en el mar Cretácico colombiano. Recuperado 11 de noviembre de 2024, de El Bosque de la Titanoboa website: <https://titanoboaforest.com/elasmosauridos-plesiosaurios-de-cuello-largo-en-el-mar-cretacico-colombiano/>

[5] Abadia, F. (2024). Monquirasaurus, descifrando al gran pliosaurio del Aptiano de Colombia. Recuperado 11 de noviembre de 2024, de El Bosque de la Titanoboa website: https://titanoboaforest.com/monquirasaurus-pliosaurio-cretacico-colombia/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=monquirasaurus-pliosaurio-cretacico-colombia

[6] Abadia, F. (2024). Colombia «tierra de mastodontes». Recuperado 11 de noviembre de 2024, de El Bosque de la Titanoboa website: <https://titanoboaforest.com/colombia-tierra-de-mastodontes-anexo/>

Referencias adicionales

<https://www.semana.com/educacion/articulo/servicio-geologico-colombiano-recupero-el-plesiosaurio-encontrado-en-villa-de-leyva/562660/>

<http://andandoporbogota.blogspot.com/2014/03/jose-royo-gomez-y-la-geologia-colombiana.html>

<https://srvags.sgc.gov.co/PortalWeb/Museo/Historia/index.html>

<file:///Users/jhonny/Downloads/FOLLETO%20MUSEO%20GEOL%20GICO%20NACIONAL%20JOS%20C3%89%20ROYO%20Y%20G%20C3%93MEZ.pdf>

<https://logiamozart.info/blog/2019/274/jose-royo-gomez.html>

<https://dbe.rah.es/biografias/5243/jose-royo-gomez>

<https://www2.sgc.gov.co/museo-geologico/exhibiciones/Paginas/exhibicion-de-fosiles.aspx>



jcasas@geologist.com

Jhonny E. Casas es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela, y con una maestría en Sedimentología, obtenida en McMaster University, Canadá. Tiene 38 años de experiencia en geología de producción y exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados para diferentes cuencas en Canadá, Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador and Perú.

Autor/Co-autor en 54 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos de exploración en la revista Explorer.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2024), en la misma universidad. Mentor en 11 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023).

Trilobites y Graptolitos:

Anécdota de dos estudiantes de geología (Kepa Achurra Allende y Alfredo Mederos Herrera) en tiempos de dictadura en Venezuela (1948 – 1958)

Marianto Castro Mora

notasgeologiavenezuela@gmail.com

Este es un relato que escuché de sus protagonistas numerosas veces. Sucedió así, pues cada vez que compartíamos en reuniones de asociaciones geológicas en Venezuela o simplemente actos sociales donde coincidíamos, les pedíamos nos narraran episodios de su largo transitar profesional en las ciencias de la tierra venezolanas. Esta anécdota me impactó profundamente porque refleja el candor e ingenuidad de la juventud; la responsabilidad, valores, enseñanzas y mentoría de un ilustre profesor y el entorno de vivir bajo un férreo régimen dictatorial.

Kepa Achurra Allende y Alfredo Mederos Herrera estudiaron geología en la ilustre Universidad Central de Venezuela en los tiempos de dictadura del General Marcos Pérez Jiménez en Venezuela, que se extendió entre el 24 de noviembre de 1948 y el 23 de Enero de 1958, y que se caracterizó por ser un régimen basado en el predominio del poder, la dominación castrense, control, censura e inexistente libertad de expresión.

Corría el año 1957 y los estudiantes avanzados de séptimo y octavo semestre debían cursar la materia Geología de Campo II. Esta asignatura debía ser cursada durante el periodo vacacional de la universidad que abarcaba los meses de Agosto y Septiembre. La preparación del tema, el lugar geográfico escogido, la logística, los recursos y el alojamiento tomaban más de un semestre de preparación. Esta importante salida de campo cubría un exhaustivo levantamiento geológico, y además debía presentarse un trabajo escrito que se tomaría como preámbulo de las exigencias de lo que posteriormente sería la tesis de grado para obtener el título de geólogo.

El profesor encargado de esta salida de campo fue el Dr. Clemente González de Juana, eminente geólogo venezolano con vasta experiencia en el conocimiento geológico del país, al estudiar las más variadas formaciones geológicas, incluyendo el diastrofismo de la región oriental, los yacimientos carboníferos de Naricual, el yeso de Paria, la evolución de la cuenca de Maracaibo, geología petrolífera de Venezuela, etc. Su obra es de obligada referencia al abordar los estudios geológicos en Venezuela.

El Dr. González de Juana era un profesor que ejercía la docencia con devoción, mística y total entrega, pero al mismo tiempo era sumamente exigente. En palabras de

Kepa y Alfredo, imponía respeto y era de carácter fuerte. Llegó el día de crear los equipos de campo y asignar los afloramientos seleccionados en toda la geografía del país para cumplir con la asignatura. El Dr. González de Juana conformó equipos siendo que Kepa y Alfredo debían realizar geología de campo en El Morro de Lecherías, ubicado al norte de Barcelona en el Estado Anzoátegui en Venezuela oriental. El Dr. González de Juana no solo se ocupó de la parte técnica y logística, sino que escogió con inmenso cuidado el alojamiento de los estudiantes durante las cuatro semanas de duración del levantamiento de campo. En el caso de Kepa y Alfredo, los hospedó en un hogar de Barcelona del cual había obtenido excelentes referencias de amigos y relacionados. Adicionalmente, personalmente había establecido conversaciones telefónicas con esta familia para asegurarse que los estudiantes estuvieran a buen resguardo.

Kepa y Alfredo comenzaron su levantamiento geológico en El Morro de Lecherías, una sección equivalente a la Formación San Antonio de aguas profundas, de clásticos finos y barros calcáreos, con fauna pelágica, de ambiente marino abierto y un rango de profundidad de aguas comprendido entre plataforma exterior y batial. La diagénesis de estas calizas se presenta como un proceso continuo, que comenzó en aguas marinas profundas y luego fue afectado por la acción de aguas meteóricas, lo que produjo recristalización de calcita.

El trabajo diario era arduo y agotador. El primer día, regresaron a la casa familiar asignada, tomaron la ducha, cenaron y salieron a caminar a la plaza de Barcelona, en aquel entonces, pueblo. Cuando regresaron el padre de familia los esperó para aconsejarles no salir o regresar al oscurecer y sugerirles quedarse en casa. De manera muy educada, les hizo saber, que, al verlos con ropa e implementos de campo, retornar sucios de trabajar, lo más prudente era que al volver se quedaran en casa. En las propias palabras de Kepa y Alfredo, las cuatro semanas se convirtieron en una cárcel para unos muchachos jóvenes que ni siquiera podían salir a caminar. El trabajo de campo estaba diseñado para una duración de cuatro semanas con posible extensión de una a dos semanas, lo cual no ocurrió, pues el encierro a que estaban sometidos los motivó a culminar en el tiempo estipulado.

Y así, Kepa y Alfredo arribaron al último día de trabajo, el cual sólo fue de revisión para asegurarse que todo estuviese a punto: los mapas, columnas, libretas de campo, muestras geológicas y fotografías tomadas. A las tres de la tarde llegaron a la casa familiar, se cambiaron y se dedicaron a redactar el mensaje a ser enviado al Dr. González de Juana. Con el ímpetu de la juventud, la alegría del trabajo culminado y las ansias de regresar a sus hogares decidieron realizar una misiva geológica, técnica, pero a la vez jocosa para su profesor. No tuvieron mejor ocurrencia que redactar: ***“Trilobites y Graptolitos regresan triunfales a Caracas luego de cruentas batallas en las playas de Lecherías”***

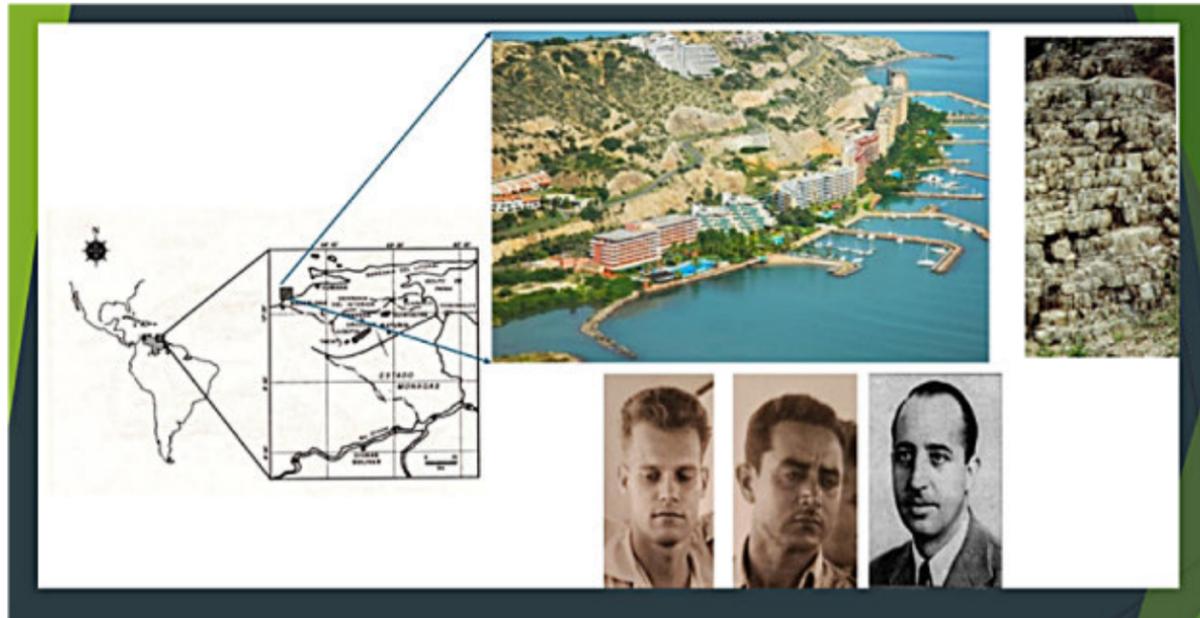


Figura 1: Área de ubicación del levantamiento geológico de la asignatura Geología de Campo II. De izquierda a derecha Alfredo Mederos Herrera y Kepa Achurra Allende, fotos tomadas de una visita a la Refinería Cardón de la Compañía Shell de Venezuela en el año 1957. El Dr. Clemente González de Juana, foto tomada del Código Estratigráfico de Venezuela sin referencia de la fecha.

Los estudiantes eufóricos, con la hoja de papel manuscrita con el mensaje, se dirigieron a la oficina de correos y telégrafos de Barcelona con la intención de enviar el telegrama al Dr. González de Juana para avisar que habían culminado el trabajo de campo y que emprenderían regreso a Caracas al día siguiente. Un telegrama era la manera más rápida de comunicarse en aquellos años. El telegrama o también llamado cablegrama era un documento breve y conciso y que nació en tiempos en los que no existía la telefonía ni mucho menos sofisticados medios de comunicación como internet, por lo que se necesitaba comunicar un mensaje de forma rápida, fácil y breve de un punto a otro, lo suficientemente lejanos territorialmente. El mensaje debía ser conciso, se pagaba por palabra y era costoso para aquellos tiempos y mucho más para unos estudiantes.

Al llegar a la oficina, Kepa y Alfredo entregaron el manuscrito al telegrafista, quien, al leerlo, les indicó que debía hacer unas correcciones en el equipo por lo que deberían esperar a que el regresase de las oficinas internas. Tardó en regresar y lo hizo con otra persona quien muy amablemente les pregunto si eran oriundos de Barcelona a lo que Kepa y Alfredo explicaron con lujo de detalles que eran estudiantes de geología de la Universidad Central de Venezuela y que cursaban los últimos semestres de la carrera y que pronto se graduarían. Inmediatamente, el oficial les sugirió que eliminaran las preposiciones y conjunciones pues así el telegrama les saldría menos oneroso, y sobre el manuscrito tachó lo que debería excluirse quedando el texto a ser enviado: **“Trilobites Graptolitos regresan**

triumfales Caracas cruentas batallas playas Lecherías”. Pasaron por la caja pagando el importe del telegrama y agradecieron la ayuda y servicio prestado.

Regresaron a la casa de la familia que les brindó albergue rápidamente siguiendo el consejo recibido de no estar mucho tiempo en la calle y permanecer en la casa. A medianoche se produce un allanamiento a la casa familiar por orden de la Dirección de Seguridad Nacional (DSN), organismo de inteligencia policial venezolano establecido en el año 1948 y dirigida por el temido Pedro Estrada. Se buscaba a dos individuos identificados como estudiantes y que utilizaban los pseudónimos de **“Trilobites”** y **Graptolitos”**. Kepa y Alfredo fueron detenidos y llevados a los calabozos donde fueron interrogados toda la noche para que confesaran los planes de subversión. Se les incriminaba a confesar que planeaban atacar la ciudad capital desde Lecherías y que deberían confesar quienes eran sus cómplices y quien era el tal Dr. Clemente González de Juana. Una interminable noche, según palabras textuales de los protagonistas, **“una noche de miedo e incertidumbre sin llegar a entender lo sucedido y explicando que los Trilobites y los Graptolitos eran fósiles y que ellos eran estudiantes de geología que estaban enviando un telegrama a su profesor para informarle la culminación de su trabajo de campo y el regreso a la universidad para trabajar en el informe de campo”**. Un policía les informó que el telegrama no había sido enviado y que en la mañana se detendría al doctor a quien estaba dirigido el telegrama en la dirección de envío, Escuela de Geología y Minas de la Universidad Central de Venezuela en Caracas. Kepa y Alfredo narraban que pasaron del

miedo al mas indescriptible terror, de solo pensar que el Dr. Clemente González de Juana fuese detenido por su culpa e interrogado por sospechas de organizar o ser parte de una insurrección. Alfredo en estado de pánico les rogó que lo dejaran preso, pero que no visitaran, manera muy educada de evadir la palabra **“allanar”** las oficinas del profesor González de Juana en la universidad.

A las ocho de la mañana, se presentaron en la Escuela de Geología y Minas, los agentes de la Seguridad Nacional solicitando al profesor Clemente González de Juana, quien aún no había llegado. Otros profesores gentilmente atendieron a los agentes y dieron fe de las actividades académicas y el legado profesional del Dr. González de Juana. Al llegar a la universidad los profesores informaron al Dr. González de Juana de la presencia de los agentes y éste inmediatamente los hizo pasar a su oficina donde lo interrogaron. Tardaron mas de 2 horas y cuando salieron les indicaron a los profesores y otras autoridades universitarias convocadas allí ante la situación, que el Dr. González de Juana los acompañarla a las dependencias de la Dirección de la Seguridad Nacional ubicadas en la Avenida México de Caracas para rendir declaración escrita y no en calidad de detenido. La preocupación en el ámbito de la escuela fue indescriptible. Al pasar de las horas y no tener noticias la ansiedad se apoderaba de profesores y estudiantes hasta el regreso del Dr. González de Juana a la escuela, con semblante serio, para recoger algunas cosas e informar que todo estaba bien y que saldría temprano en la mañana para buscar a los estudiantes en Barcelona con el vehículo de la escuela.

Los estudiantes continuaban detenidos, y en los interrogatorios que se extendieron durante todo el día, les hacían preguntas sobre las libretas de campo, mapas y muestras. Otra noche en el calabozo, escuchando a presos, detenidos y ruidos en una noche interminable. En la mañana, alrededor de las 11 am, recibieron la visita de un funcionario quien los llevo a otras dependencias donde los sentaron a esperar. Cuando llegó el Dr. González de Juana, en palabras de los protagonistas **“sintieron una baja de tensión arterial y lo mas cercano a un desvanecimiento, no tuvieron fuerzas para saludar”**. El

oficial le hizo entrega al Dr. González de Juana de el material encontrado en el cuarto de los estudiantes: ropa, piquetas, brújulas, libretas de campo, mapas, muestras y le comunicaron que la cámara fotográfica y los rollos de fotografía quedaban retenidos hasta revelar las fotografías y culminar la investigación.

Kepa y Alfredo se sentaron en el asiento de atrás, lo hicieron por decisión propia, por una mezcla de pena, respeto, temor, miedo, vergüenza. El viaje de regreso a Caracas tomó aproximadamente cinco horas, de las cuales durante tres horas los estudiantes estuvieron sentados cabizbajos, sin mirarse hasta que en una venta de comida de la carretera el Dr. González de Juana detuvo el vehículo, se giró hacia ellos y les dijo: **“Muchachos, vamos a comer algo y pasar el susto. De ahora en adelante tengan mucho cuidado con lo que dicen y hacen...creo que la experiencia les enseñó de la manera mas cruenta la realidad que vivimos...ahora a llegar a Caracas y trabajar duro para sacar el mejor reporte de campo.”**

La dictadura del General Marcos Pérez Jiménez fue derrocada unos meses después, el 23 de Enero de 1958. Estos jóvenes estudiantes pudieron graduarse en democracia y con las libertades reestablecidas en Venezuela. Kepa Achurra Allende tuvo una brillante carrera profesional en la industria petrolera venezolana, regresó a Euskadi, España en 1984, año en el que falleció. Alfredo Mederos Herrera por su parte, luego de graduarse de geólogo comenzó a trabajar en Creole Petroleum Corporation donde fue becado para estudiar palinología en la Universidad de Stanford, en California, Estados Unidos. Su carrera profesional la desarrollo en la industria petrolera venezolana como palinólogo para Intevep S. A., Centro de Investigaciones Tecnológicas de Petróleos de Venezuela y Lagoven S.A. donde se jubiló para comenzar una nueva y exitosa etapa como profesor de Geología Histórica en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la ilustre Universidad Central de Venezuela. Numerosas promociones de geólogos llevan su nombre. Actualmente vive con su esposa entre Estados Unidos y las Islas Canarias con sus hijas, nietos y bisnietos.



Figura 2: Kepa Achurra Allende falleció en el año 1984 en Euskadi, España; Alfredo Mederos y su esposa viven rodeados del cariño familiar de sus hijas, nietos y bisnietos entre Estados Unidos y las Islas Canarias; El Dr. Clemente González de Juana falleció en el año 1982 dejando un inconmensurable legado en las ciencias de la tierra de Venezuela.

AGRADECIMIENTOS

Al escuchar esta historia de sus protagonistas, interiorice la importancia de haber vivido y estudiado en democracia, en libertad. Muchas veces olvidamos lo importante de la libertad de expresión, del poder vivir sin miedos ni restricciones. El Dr. Clemente González de Juana, respetado, querido, no tan sólo por ser un excelente profesor, sino por ser un mentor, guía y hasta en los peores momentos, defender y estar al lado de sus estudiantes. Recuerdo como sus exalumnos, ya muchos de ellos con altos cargos en las diferentes compañías tanto nacionales como internacionales se referían a él con inmenso respeto como “Don Clemente”.

Todo mi agradecimiento a Elizabeth Hernández y Omar Colmenares por tomarse el tiempo de revisar, sugerir y corregir mis borradores.



Marianto Castro es graduada en la Universidad Central de Venezuela en el año 1980; Master en Geología Sedimentaria en la misma universidad en 1983; Especialización en nannoplancton calcáreo en el programa Lagoven – Total CFP Burdeos, Francia - Centro Nacional de Investigación Científica, Orleans, Francia en 1989; Especialización en Proyectos de Gerencia de Ingeniería en el año 1997 en la Universidad Católica Andrés Bello.

Veintidós años de experiencia en la industria petrolera venezolana trabajando para Lagoven S.A. en el laboratorio de geología; Intevop S.A. como estratígrafo y encargada del Código Geológico de Venezuela; y Petróleos de Venezuela S. A. formando parte del equipo de trabajo de la Gerencia del Conocimiento.

Profesora en la Facultad de Ciencias, Escuela de Geoquímica de la Universidad Central de Venezuela

REFERENCIAS

CARDOZO UZCATEGUI, A. 2009. **La propaganda política durante la dictadura de Marcos Pérez Jiménez: la construcción de la legitimidad de ejercicio y una diplomacia velada 1952-1957.** Revista Venezolana de Ciencias Políticas, Número 35, Universidad de Los Andes, Venezuela.

Diccionario de Historia de Venezuela, DHV, BIBLIOFEP Historia, Fundación Empresas Polar. <https://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/dhv/entradas/p/perez-jimenez-marcos-gobierno-de/>

Interview KEPA ACHURRA [Frantzia, Venezuela, 1937-1984]. Universidad Deusto Ondare Bizia. <https://dkh.deusto.es/en/community/ondarebizia/resource/kepa-achurra-frantzia-venezuela-1937-1984/f95e7b33-cfff-4257-ac20-386e63635ba4>

Diecinueve años de experiencia en Canadá en empresas mineras de exploración y en el sector financiero trabajando para Crystallex International Corporation, geólogo asistente del vicepresidente de exploración; U308Corp, gerente técnico de la base de datos y encargada de control de calidad de las muestras y Marrelli Support Services Inc., como oficial para el cumplimiento de pago o devolución de impuestos; revisión de documentación por parte del Gobierno de Canadá y revisión de reportes financieros a ser presentados por pequeñas empresas mineras (exploración) ante las autoridades competentes en Canadá.

Actualmente, consultor independiente; representante por Venezuela ante la Comisión Norteamericana de Estratigrafía y miembro de la Sociedad de Historia de las Geociencias en Venezuela.

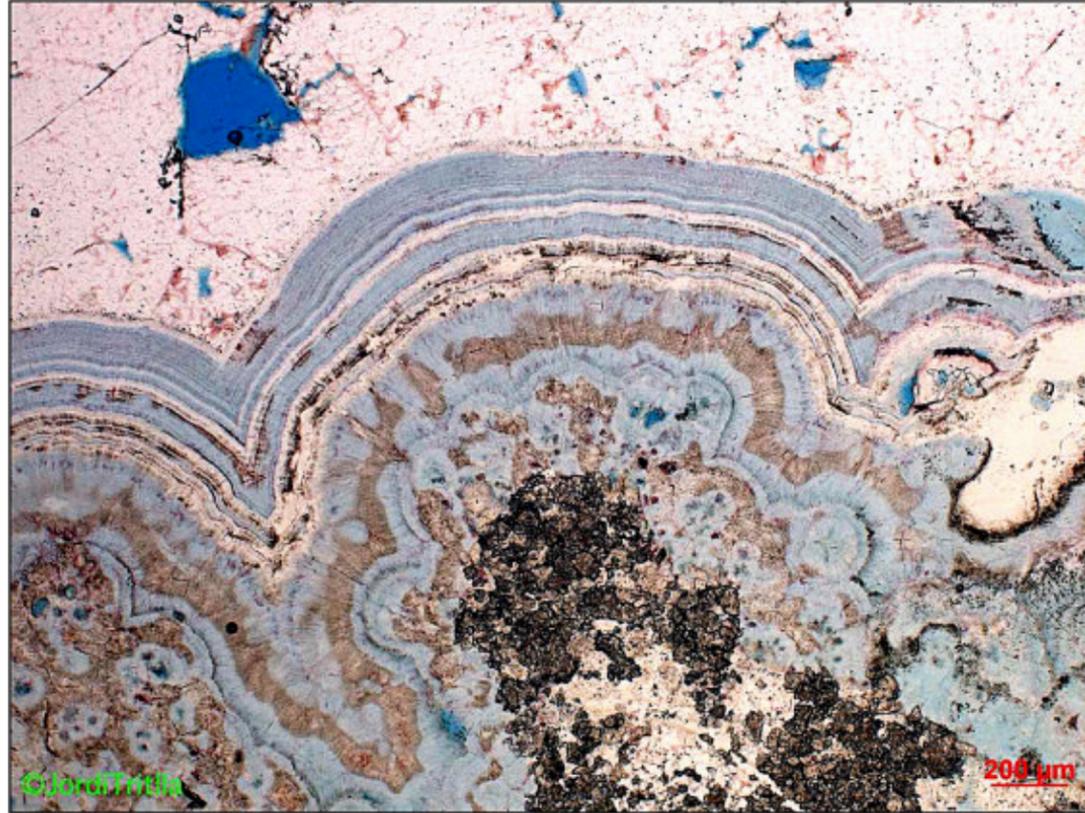
notasgeologiavenezuela@gmail.com



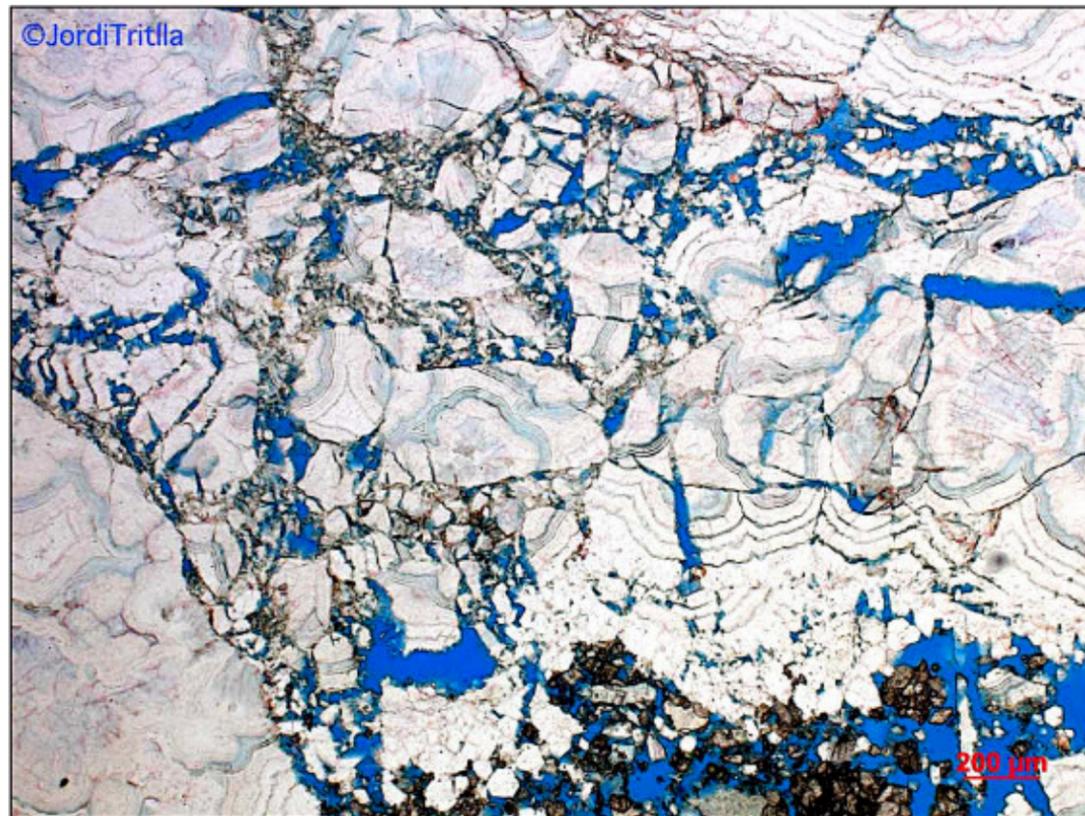
Upper Cretaceous Punta Barrosa Formation thin-bedded turbidite sandstone and shale at Bajo Las Sombras, a viewpoint on RP-11 along the way to Perito Moreno glacier, Patagonia, Argentina. Photos by **Dr. Gary Prost**.



A west-verging subsidiary fold in the Early Cretaceous Agrio Formation is exposed in this roadcut along RP-43 near the core of the Chos Malal Anticline. This is probably equivalent to the middle Avilé member, primarily fluvial channel sandstone and overbank deposits. The Agrio Fm. is an important hydrocarbon source rock as well as reservoir rock, seal, and detachment surface in the Neuquén Basin, Argentina. Both of these stops are part of geo-tours in Patagonia and the Neuquén Basin described in **Prost, G.L., 2024, South America's Natural Wonders, CRC Press.**



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). **Dr. Jordi Tritlla.**



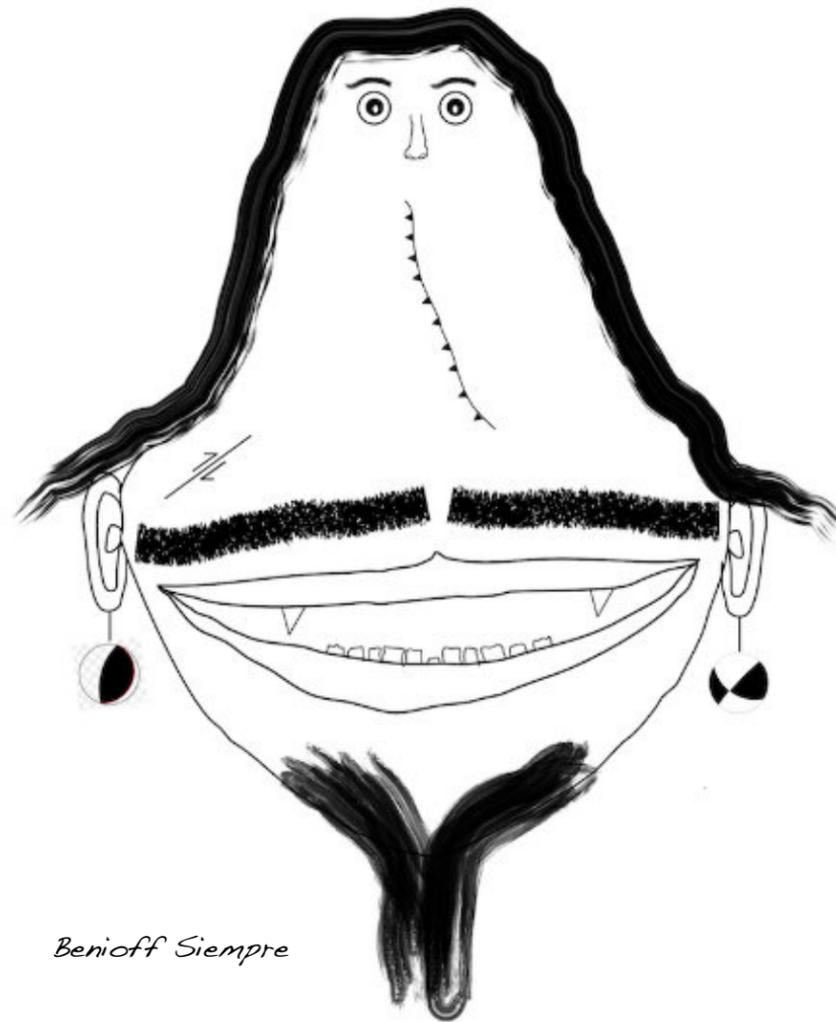
Brecha de colapso por corrosión de los restos carbonatados de la roca original. La brecha está constituida por fragmentos angulosos de carbonato (trombolito) silicificado y por fragmentos de cemento de calcedonia-cuarzo. Posteriormente ha sufrido compactación, con el desarrollo de grietas de tensión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

María Guadalupe Cordero Palacios

lup@comunidad.unam.mx

quien está a cargo de organizar esta información.

Sergio Sarmiento (Ph.D.)

Fracture and DFN Specialist

Chevron, Houston, Texas

Notes on Fracture Analogs

Natural fractures play an important role in reservoir permeability and potentially storage in oil and gas reservoirs. Fractures in nature range widely in scale from microfractures to large scale faults of tens of kilometers in length (figure 1). The difficulty in characterizing length, height and apertures on fractures resides in sampling these discontinuities in depth due to their scale being much less than the seismic resolution; an additional challenge is the uncertainty to determine if the fractures that are recorded on a core or borehole image are representative of the reservoir in question.

Fracture surface analogs are used in lieu of the lack of sampled fractures below the seismic resolution. Budgetary restrictions to drill new wells and acquire borehole image logs and core influence the scarcity of measured sub-seismic fractures in depth. These analogs are the best approximation in the surface of the spatial organization of fractures in depth.

What is a Fracture Analog?

Fracture surface analogs are outcrops where fractured formations associated to a prospective or proven reservoir in depth are exposed at the surface. Fracture spatial organization must not be assumed the same of the reservoir in depth for the following reasons:

- Differences in structures and/or structural position between the analog and the reservoir (figure 2).
- Differences in vertical stress as fracture apertures and organization are affected by the effect of the overburden or residual stress at the surface. Fractures that appear open for flow might not be in depth as the stress ratios are different
- Influence of diagenesis is usually localized and can make a big impact specially on carbonates.

Finding the correct analog requires a knowledge of the existing reservoir if wells are drilled and if there is a frontier prospect, the key is to build a fracture conceptual model and determine the fracture drivers.

What is a Fracture Conceptual Model?

A fracture conceptual Model is the framework used to build a Discrete Fracture Network. A conceptual model has the goal to develop a visual representation of the fracture spatial distribution for a reservoir in depth based on data if available (seismic, wells, production) and enhanced by the information observed on a fracture analog. For instance, a fracture conceptual model might establish a fracture scale hierarchy each scale with a spatial distribution either confined to a mechanical or stratigraphic layer or a fracture that cut across multiple layers (figure 3).

An important question of a conceptual model is how well this model can reproduce or forecast the spatial fracture distribution in the reservoir. The fracture driver which is the mechanism(s) that best explained that distribution must be include in any conceptual model.

There are two main fracture drivers: Structural and Stratigraphic or a combination of both of them.

When the spatial arrangement of fractures is mainly associated to structures, the driver is structural. If fractures are layer confined or bounded, mechanical stratigraphy might be a driver. Mechanical layers not necessarily coincide with a uniform lithology or lithologies as what determine the fracture generation is a combination of the rock mechanical properties and the effective stresses present at the time of fracture formation.

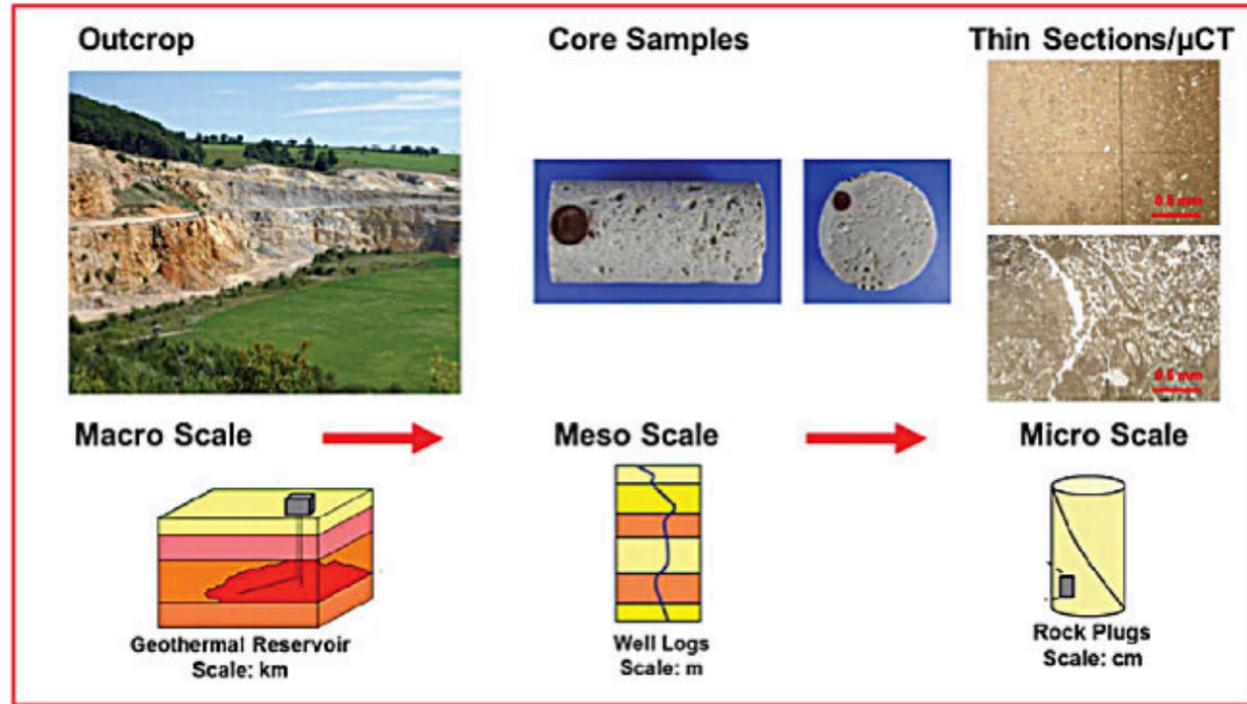


Figure 1. Fracture Scale Ranges. (figure after Homuth and Saas, 2014). Fractures characterization needs to include multiple scales and determine what is their relation between them. Power law distributions are noted in many fracture sets with more of the smaller scale and less of larger scales.

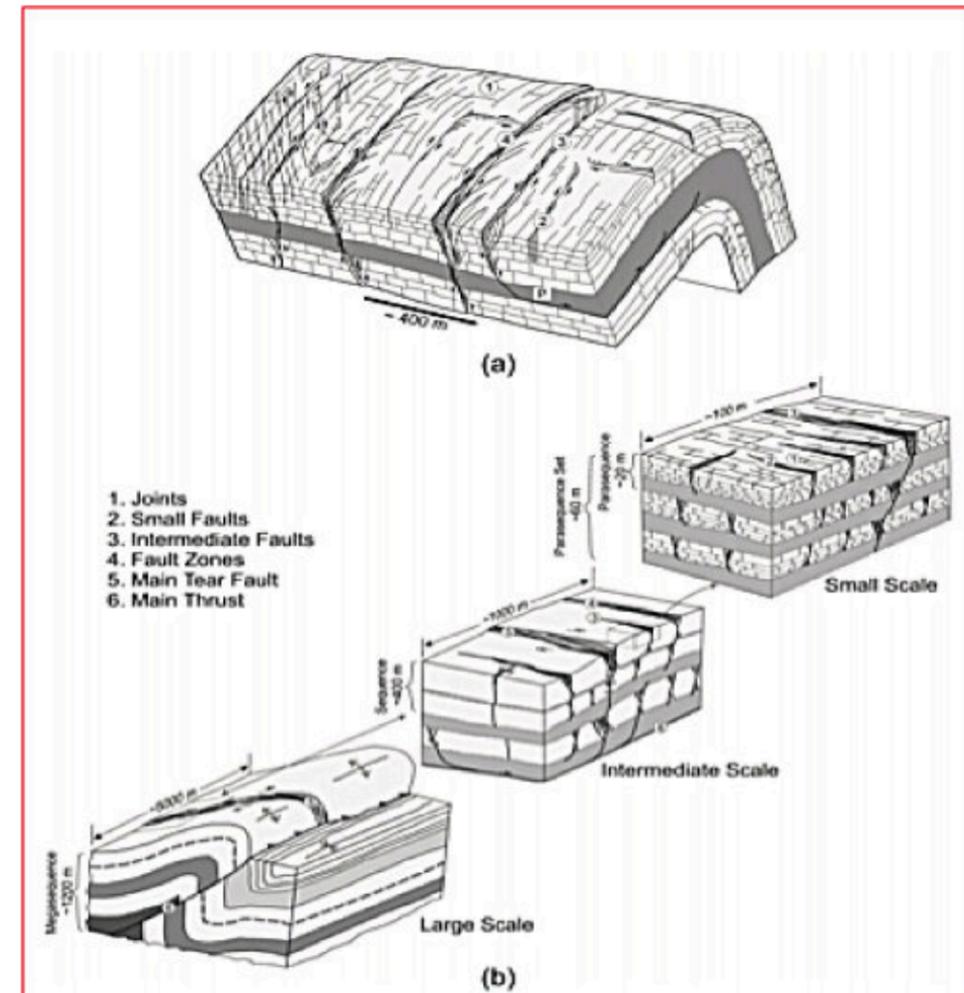


Figure 3. Example of a fracture conceptual model where there is a hierarchy in fractures at different scales. (figure after Florez-Nino et al, 2004).

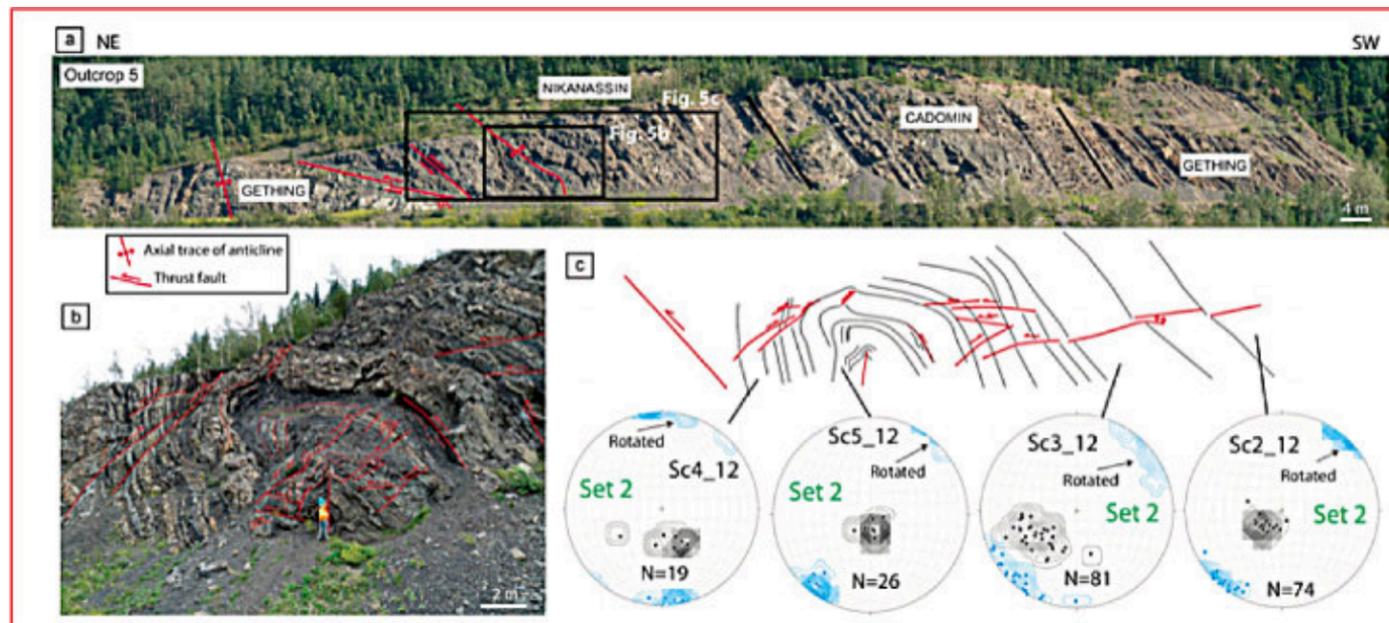


Figure 2. Fracture distribution across an anticline (Figure after Ukar et al, 2019). Observe how fracture distribution change according to the structural position.

Characterization of a Fracture Surface Analog

Data collection of fracture analogs include the generation of scanlines where fracture types, apertures and orientations are recorded and fracture intensity calculations are derived. Limitations on the number of scanlines and the presence of vegetation and other physical barriers make methods like LiDAR (Light Detection and Ranging), drones and giga pans image improve the resolution and scan the entire exposed volume of the analog.

References

- Florez-Niño, J, M. Aydin, A. Mavko, G. Antonellini, M and A. Ayaviri. *Fault and fracture systems in a fold and thrust belt: An example from Bolivia*; 2005. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin. 89: pp. 471-493.
- Homuth, S; and I. Saas. 2014. *Outcrop Analogue vs. Reservoir Data: Characteristics and Controlling Factors of Physical Properties of the Upper Jurassic Geothermal Carbonate Reservoirs of the Molasse Basin, Germany*. Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 24-26, 2014.
- Ukar, E., S.E. Laubach and J.N. Hooker; 2019. *Outcrops as guides to subsurface natural fractures: Example from the Nikanassin Formation tight-gas sandstone, Grande Cache, Alberta foothills, Canada*. Marine and Petroleum Geology



I am a Geoscientist with 20+ years of professional experience in the energy sector, and R&D for reservoir modeling for conventional and unconventional plays. I am highly skilled in fracture & geomechanics modeling focused on improving recovery factors on unconventional shale oil & gas, fractured reservoirs, and crystalline basement reservoirs.

My experience in modeling the interaction between natural and hydraulic fractures and dynamically calibrating discrete natural fracture networks (DFN) is multi scale and interdisciplinary. This includes integrating borehole image interpretation and anisotropy analysis, diagenesis, 1D and 3D geomechanics models, well logs and sensors, micro seismic, induced seismicity, well tests, production, hydraulic stimulation, and completion data.

Active in professional associations, presenting, and sharing published work at conferences. Current in the state-of-the-art technology and fracture research consortia. Familiar and comfortable working in multidisciplinary and culturally diverse teams.

Key Business Strengths include:

Shale Unconventional (Interaction between Natural & Hydraulic Fractures) | Geomechanics | Microseismic | Induced Seismicity | Fault Seal Analysis | Anisotropy Analysis | Borehole Image Interpretation | DFN | Tight Carbonate & Sandstone Reservoirs (Fracture Modeling) | Reservoir Modeling | Fractured Crystalline Basement Reservoir | Borehole Image Interpretation | Eagle Ford | Marcellus | Duvernay

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Sergio-Sarmiento-2078201848>

<https://www.linkedin.com/in/sergio-sarmiento-ph-d-reservoir-modeler-dfn-expert>

PUBLICATIONS

Sarmiento, S, A. Briceno, B. Fontecha, S. Winstanley, and L. Navarrete. A Clustered DFN from sequence spacing analysis in the Mississippian Lime; 2018. Proceedings of the 2th International Discrete Fracture Network Engineering Conference and 52th American Rock Mechanics Association symposium. DFNE 18-215. Seattle.

García-Sellés, D; S. Sarmiento, O. Gratacós, P. Granado, N. Carrera, M.R. Lakshmikantha; J.C. Cordova, and J.A. Muñoz. 2018. Fracture Analog of the subandean devonian of southern Bolivia: LIDAR applied to Abra del Condor. AAPG Memoir 117: pp. 577-612. Petroleum Basins and Hydrocarbon Potential of the Andes of Peru and Bolivia, Editors Gonzalo Zamora Valcarce, Ken McClay, Victor A. Ramos.

Biber, K., S.D. Khan, T.D. Seers, S. Sarmiento, and M.R. Lakshmikantha; 2018. Quantitative characterization of a naturally fractured reservoir analog using a hybrid lidar-gigapixel imaging approach. Geosphere.14. n.2, 1-21.

Sun, L., S.D. Khan, S. Sarmiento, M.R. Lakshmikantha, and H. Zhou. 2017. Ground-based hyperspectral imaging and terrestrial laser scanning for fracture characterization in the Mississippian Boone Formation. Int. J Appl Earth Obs Geoinformation. 63, 222-233.

Sarmiento, S, E. Macaulay, V. Sifontes, J. Arregui, and M.R. Lakshmikantha; 2016. A Novel Approach to model DFNs Validating the Geological Evolution with Present Day Fracture Distributions. Proceedings of the 50th American Rock Mechanics Association/ Geomechanics symposium. ARMA 16-172. Houston.

Okay, U. S.D. Khan, M.R. Lakshmikantha, and S. Sarmiento. 2016. Ground-based hyperspectral image analysis of the Lower Mississippian (Osagean) Reeds Spring Formation rocks in Southwestern Missouri. Remote Sensing 8, 1-21.

CONFERENCE PRESENTATIONS

Sarmiento, S; Walker, G; Briceno, A; Fontecha, B; Segnini, C; Navarrate, L; 2018. Fracture Intensity as a False Positive for Productivity: Indications of Geothermal Activity, American Geophysical Union Fall Meeting Conference. Washington DC.

Sarmiento, S., E. López Puiggené, A. Díaz Aguado, N. Rodríguez Morillas, and C. Santos. 2015. Holistic Approach to Determine Wellbore Fracture Density, 77th EAGE Conference & Exhibition Madrid.

Díaz, A., E. López, J. Alvarellós, C. Santos, C., S. Sarmiento, and M.R. Lakshmikantha. 2015. Integration of Multiple Tools for Geomechanical Models Across Fractured Formations, 77th EAGE Conference, Madrid, Spain.

La historia de la mineralogía: Minerales, su origen y estudio a través del tiempo

Marco Antonio Medina Cuevas

Vestigios de la mineralogía en la antigüedad

Desde el inicio de la historia de la humanidad y antes que la mineralogía surgiera, los humanos tenían interacciones con diversos minerales para la manufactura de herramientas, utensilios y refugios, a esto se le dio el nombre de "Artes Mineralógicas". Las Artes Mineralógicas son más antiguas que el homo sapiens, con ayuda de datos antropológicos hemos podido comprobar diversas especies minerales utilizadas en la vida cotidiana de algunas civilizaciones como lo son: el cuarzo, obsidiana, turquesa, oro, plata, cobre entre otros. Sin embargo, los primeros destellos de la mineralogía aparecen en la Grecia clásica en el siglo V a.C.

Grecia es el comienzo de las primeras conjeturas mineralógicas con Teofrasto (372-277 a.C.) con su ensayo "Sobre las Piedras" (315 a.C.). En este trabajo Teofrasto logra describir gracias al color y la densidad, algunos minerales como el yeso, magnetita, cinabrio y crisocola; las cuales describió de manera inequívoca y satisfactoria, ya que se le atribuye su autoría hasta el día de hoy.

En Roma Gaius Plinius Secundus (23-79 d.C.) más conocido como "Plinio el viejo" inspirado por obras de sus antecesores, escribió cuatro tomos dedicados a minerales y a día de hoy se le atribuye a su nombre alrededor de once especies minerales, entre ellas el diamante. Pedanius Dioscorides (40-90 d.C.) en su obra "De Materia Médica" logra atribuirse la descripción original de la pirita y melanteraíta.

Desarrollo de la Mineralogía durante la Época Medieval y el Renacimiento

Durante los quince siglos posteriores a la caída del imperio romano, Europa cayó en una época donde predominó el misticismo y las religiones, lo que trajo oscuridad al ámbito científico y no hubo demasiadas aportaciones.

Abú Rayhán Muhammad Ibn Ahmad Al-Biruni (973-1048) publicó dos libros sobre minerales y piedras preciosas. Su obra "gemas" está dividida a su vez en dos tomos, "Piedras Preciosas" y "Metales". En ellas se encontraban las propiedades, color, dureza, yacimientos y rocas asociadas de aproximadamente un centenar de minerales. Lo más interesante fue la exactitud de la determinación de la densidad gracias a la balanza hidrostática; sus datos eran

tan precisos que no se obtuvo tal precisión hasta ocho siglos después en Europa.

El médico árabe Avicena (980-1037) estableció el primer orden sistemático de los minerales separándolos en cuatro grupos:

1. Las piedras que no daban sales
2. Las piedras metálicas
3. Los azufres
4. Las sales

En el Renacimiento, específicamente en el siglo XII se instalan las bases de la cristalografía y la mineralogía escolástica. Desde científicos como Gugliemini (1655-1710) que calculó los elementos de cristalización a partir de cuatro formas poliédricas hasta Bernardo de Palissy (1510-1589) que describió las arcillas como minerales; siguieron las bases de la mineralogía del considerado padre de la geología George Bauer (1494-1555) mejor conocido como "Agrícola".

George Bauer, un médico de Joachimsthal, hoy República Checa; se interesó en los minerales utilizados en la medicina. Esto lo llevó a publicar ocho textos tan acertados en sus técnicas de mineralogía determinativa y los métodos para identificar minerales describiendo su color, lustre, transparencia, densidad, clivaje y fractura; todos estos principios han perdurado hasta hoy.

La Identificación Mineral y Cristalografía

En 1802 William Wollaston (1766-1828) diseñó el primer refractómetro para medir índices de refracción de líquidos y en 1809 inventó el primer goniómetro de reflexión para la medida de los ángulos interfaciales de las caras de los cristales. Estudiando con mayor exactitud las medidas y haciendo de la cristalografía una ciencia exacta.

Balthasar Sage (1749-1829) consideró y tomó como la propiedad más adecuada para identificar cada material a la composición química. Posteriormente Jöns Berzelius (1779-1848) definió la nomenclatura de los elementos y planteó a las ecuaciones químicas con las fórmulas que usamos en la actualidad, y fue considerado el padre de la sistemática natural de los minerales.

En 1828 William Nicol (1771-1851) inventó un prisma de calcita para proporcionar luz polarizada, que permitía observar rocas, minerales y rocas fósiles al microscopio simple.

A finales del siglo XIX se desarrolló la teoría para la simetría interna y el orden interno de los cristales por los científicos Ferodov, Schoenflies, Bariow. Otros científicos

destacados fueron: Friedrich Mohs (1773-1839) contribuyó con la escala de dureza Mohs y William Miller (1801-1880) con el sistema de índices de Miller.

Del siglo XIX hasta la actualidad

Uno de los aportes más importantes del siglo XX fue por Max Von Laue (1879-1960) y sus ayudantes Walter Friedrich y Paul Whipping en 1912, su experimento consistía en difractar un haz de rayos X a través de un cristal de esfalerita. La cual corroboró la teoría atómica de Dalton y la existencia de los retículos cristalinos de Bravas.

Linus Carl Pauling (1901-1994) en 1998 instauró las cinco reglas de Pauling, normas fundamentales en la cristalografía para describir el comportamiento de los elementos químicos, la electronegatividad y estructura molecular. La escala de electronegatividad de Pauling permite predecir el tipo de enlace química entre los átomos.

El avance de la ciencia entre los siglos XIX y XX fue incrementando exponencialmente, tanto el auge de nuevas disciplinas y la exploración del espacio exterior a partir de la segunda mitad del siglo XX transformó la geología planetaria. Otros aportes importantes fueron: William Lawrence Bragg (1890-1971) desarrolló la Ley de Bragg, Victor Moritz (1888-1947) su trabajo ayudó a establecer las bases de la cristalografía moderna.

Charles Victor Mauguin (1878-1958) desarrolló la teoría de los grupos cristalinos. Innumerables científicos continúan desarrollando el campo de la mineralogía hasta el día de hoy.

Conclusión

A pesar de no verlos a simple vista los minerales están presentes en todos los aspectos de nuestra vida cotidiana, en un aparato electrónico, utensilios, automóviles, edificios, etc.

Desde antes de que el humano evolucionara por completo ya tenía interacción con minerales a la hora de hacer

herramientas para su supervivencia. La mineralogía y su evolución han sido una parte fundamental para el progreso de la humanidad y de las Ciencias de la Tierra. Nos da la capacidad de comprender diferentes procesos naturales y el mundo que nos rodea.

Al repasar la historia de la mineralogía, esta nos recalca la relación estrecha entre los progresos científicos con la sociedad. Cada descubrimiento que se mencionó tuvo un gran impacto en la vida cotidiana, cultura y economía de la época.

Para finalizar me gustaría decir que para mí, la mineralogía es una ventana, la cual al asomarnos podemos contemplar el pasado, el presente y ver una ligera silueta del futuro.

La mineralogía trasciende a su objeto de estudio, influyendo en la comprensión de la historia y progreso de la humanidad.

Referencias

Amorós, J.L. (1964). Notas sobre la historia de la cristalografía y mineralogía. La mineralogía en 1800: La Oricognosia de Andrés del Río. Boletín de la Real Sociedad Española. Vol 62. Madrid.

Bracegirdle, B. (1987). A History of microtechnique. Science Heritage Lid. 393 pp. Lincolnwood, Illinois.

Klein, C. & Dutrow, B. (2007). Manual of Mineral Science. John Wiley & Sons. 23era Edition. Estados Unidos de América.

Sturdivant, J.H. (1968). The Scientific Work of Linus Pauling. In rich, A y N. Davidson. Structural Chemistry and Molecular Biology. W.H. Freeman and Co. San Francisco.

Yoder, H.S. (1992). Earth Sciences History. Vol 11. New Jersey

Vaughan, D.J. (2002). Minerals, Metals and Molecules: ore and environmental mineralogy in the millenium. Mineralogical magazine. 653-676 pp. London



Mi nombre es **Marco Antonio Medina Cuevas**, tengo 20 años y estudié Ingeniería Geofísica. Desde pequeño me ha apasionado el explorar y conocer el mundo, siempre me ha gustado verlo como un ente vivo. Desarrolle un profundo interés por la mineralogía, considero que los minerales son la clave para entender la historia y evolución del planeta. Mi objetivo siempre ha sido contribuir al desarrollo sustentable para salvaguardar los recursos de la Tierra y evitar destruir aquello que nos da vida.

hard_marco04@hotmail.com

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 subacuático?, 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

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

www.twitter.com/Montxolopez

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

DID THE TOBA ERUPTION PRODUCED A WIDESPREAD GLACIATION AND A HUMAN POPULATION CRASH?

JHONNY E. CASAS¹

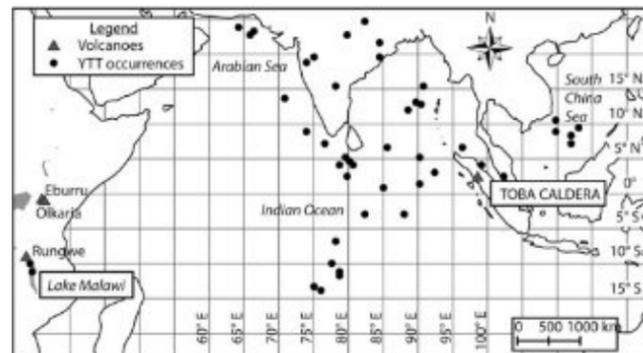
¹ Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



Toba volcano in northern Sumatra is located at the intersection of two major tectonic lineaments in one of the most seismically active regions in the world, and its caldera is considered the largest Quaternary caldera on earth. The most recent Toba explosive eruption at ~74 ka was an order of magnitude larger compared with Tambora in 1815, and has a Volcanic Explosivity Index (VEI) of 8. The exceptional magnitude of this super-eruption and the widespread distribution of the so called Younger Toba Tuff (YTT) in marine cores in the Indian Ocean, the Arabian Sea, the South China Sea and east Africa, have created a sustained debate about its possible global and regional impact on climate, ecosystems and prehistoric human populations.

Toba was no ordinary eruption. It spewed thousands of tons of ash into the atmosphere, enough to probably create a decade-long volcanic winter, leading to massive die-offs of vegetation and the end of some species. That was followed by up to one thousand years of cooler than normal temperatures. The interpreted event was probably so extreme that some scientists have

suspected that a volcanic winter resulted from the eruption and it was a big enough to wipe out most early humans, due to some genetic evidence suggesting a reduction of the global human population to just a few thousand survivors, a hypothesis called the **"TOBA CATASTROPHE THEORY"**.



The Toba super-volcano has erupted explosively a number of times over the past 1.2 million years. By far the largest and most destructive of these occurred around 74,000 years ago, and the YTT was found between southeast Asia, India and east Africa.

THE TOBA ERUPTION

The largest supervolcano eruption of the past 2.5 million years was a series of explosions of Mount Toba on the Indonesian island of Sumatra about 74,000 years ago. Researchers say Toba spewed out a staggering 2,800 km³ of magma, equivalent in mass to more than 19 million Empire State Buildings. By comparison, the infamous blast from the volcanic Indonesian island of Krakatoa in 1883, one of the largest eruptions in recorded history, released about 12 km³ of magma.

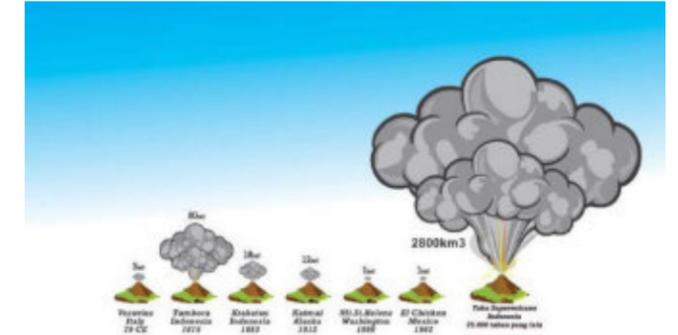


A Google Earth image of the caldera on the island of Sumatra. The lake is about 86 km long and 30 km wide, and has a large island inside, the resurgent block of the caldera.

The Toba ignimbrite deposits have been dated by the K/Ar method at 73,500 ± 3,500 B.P., and 40Ar/39Ar age determinations gave 73,000 ± 4,000 B.P. (Chesner et al., 1991). The Toba ash layer occurs also in deep-sea cores from the Indian Ocean at the time of the Oxygen Isotope Stage 5a-4 transition, estimated at 73,910 ± 2,590 B.P. Oppenheimer (2002) reviewed nine different estimates over a wide range, and concluded that the eruption was 74,000 ± 2000 years ago.

The YTT explosion instantly destroyed all life in its surrounding area, with intensely hot flows of billions of tonnes of ash and rock, accompanied by a deafening noise and powerful tsunamis. It also sent hundreds of cubic kilometers of ash and gases high into the atmosphere, even as the volcano itself collapsed inwards to form a huge sunken caldera (now Lake Toba). The gases, including sulfur, circled the globe on air currents, while the ash spread out to the north and west fanned by prevailing winds. When the ash began

to fall, it covered the Indian subcontinent and rained down into oceans from the Arabian Sea in the west to the South China Sea in the east and east Africa (the figure above shows all the locations from which YTT despositis have been recovered to date). Gradually the earth cooled as the sun's heat was reflected by the suspended gases, affecting rainfall and climates across the globe.



The scale of the power of the Toba Super volcano eruption (right) in Indonesia around 74,000 years ago is visualized and compared to other historical well documented volcano eruptions like the Vesuvius volcano eruption of 79 CE and the Krakatau volcano eruption also in Indonesia in 1883 AD.

About the same time the eruption took place, the number of modern humans apparently dropped cataclysmically, as shown by some genetic research (Rampino & Ambrose, 2000). If that so, people today evolved from the few thousand survivors of whatever happen to humans in Africa at the time. The giant plume of ash from Toba, stretched from the South China Sea to the Indian subcontinent and ocean, to the Arabian Sea and eastern Africa, and in the past, investigators proposed the resulting volcanic winter might have caused this human die-off (Rampino & Self, 1993; Rampino & Ambrose, 2000).

DID THE TOBA ERUPTION PRODUCED A WIDESPREAD GLACIATION AND A HUMAN POPULATION CRASH ?

Rampino & Ambrose (2015) showed Evidence from volcanology, ice-core studies, and atmospheric modeling suggesting that the Toba eruption produced a widespread dust cloud, and a dense global H₂SO₄ aerosol cloud that persisted for up to 7.5 yr. The estimated dust and aerosol loadings would have produced regional to global aerosol optical depths between 1 and 10, similar to those predicted in scenarios of nuclear winter. The Toba aerosol cloud was predicted to have caused severe cooling, with immediate temperature decreases to near or below

freezing in the tropics, hard freezes at midlatitudes, and an extended cooling of 3–5 °C or more on a global basis. Drought in the tropics from weakening of the Hadley Cell circulation and monsoons is also possible.

Rampino & Ambrose (2015) postulated that the aftermath of the Toba eruption would have constituted a global environmental disaster, with especially severe effects in the tropics, where vegetation lacks cold hardiness. Even in temperate areas, botanical studies predicted that forest and grassland ecosystems could have suffered widespread destruction, with recovery times of about several decades. Furthermore, longer term cooling might have been induced or enhanced by positive feedbacks (e.g., ocean cooling, increased snow cover and sea ice) to the long-lived Toba aerosols. Ice-core evidence from Greenland shows that the Toba eruption coincided with a 200-yr period of sharp cooling that initiated a ca. 1,000-yr stadial event.

Apparently, the Toba super-eruption occurred during a window of time in which the early human population suffered an extreme bottleneck, with some estimates of as few as 3,000 individuals (Rampino & Self, 1993; Rampino & Ambrose, 2000), followed by the expansion of modern humans. Botanical studies of the expected damage to natural ecosystems from severe coolings and drought such as expected in the aftermath of Toba predict a global environmental disaster that could have contributed to population crashes of various organisms. The recent discovery of genetic evidence that Eastern Chimpanzees population appear to have undergone a dramatic bottleneck ca. 70,000–60,000 yr ago (Morin et al, 1994), at about the same time of the disaster theory.

NEW EVIDENCE - ASH IN THE MALAWI LAKE (AFRICA)

According to a study by Lane et al (2013), they examined ash from Toba, recovered from mud extracted from two sites at the bottom of Lake Malawi, the second largest lake in the East African Rift Valley. Their analysis discovered that a thin layer of ash in those sediments, about 27 m below the lake floor, was from the last of the Toba eruptions, known as Youngest Toba Tuff (YTT). The Toba super-eruption dispersed huge volumes of ash across much of the Indian Ocean, Indian Peninsula and South China Sea, so the layer of YTT at Lake Malawi was carried about twice the distance as previously thought, over more than 7,000 km.

Lane et al (2013) analyzed the Toba horizon and four additional depths in the same lake, and found the Toba interval recorded a temperature drop of ~1.5 °C relative to sediment above and below this horizon. They stated that the hypothesized “volcanic winter” that followed the Toba eruption did not have a significant impact on the climate of East Africa and was not the cause of a human bottleneck in Africa around 74-75 ka B.P. The authors concluded that The YTT in Lake Malawi was not accompanied by a major change in sediment composition or evidence for substantial temperature change, implying that the eruption did not significantly impact the climate of East Africa and was not the cause of a human genetic bottleneck at that time.

In another study published by Yost et al (2018) in the Journal of Human Evolution, the Toba catastrophe theory was also denied. Those researchers re-examined sediment cores drilled from Lake Malawi in East Africa, where previous studies had identified crystals and glass from the Toba eruption in those cores. Looking at microscopic bits of plant matter preserved in the cores, the same researchers were able to look at vegetation levels 100 years before and 200 years after the eruption. What they found is that there was no cooling or massive die off. It seems the massive explosion did not impact east Africa at all, except for alpine areas.

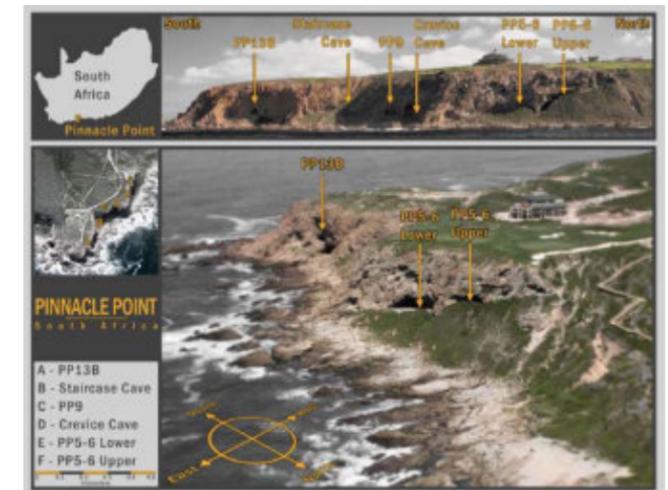
The review of genetic studies by Yost et al (2018) found no support for a genetic bottleneck at or near ~74 ka. Based on previous studies and their paleoenvironmental data, the authors found no support for the Toba catastrophe hypothesis and concluded that the Toba supereruption did not 1) produce a 6-year-long volcanic winter in eastern Africa, 2) caused a genetic bottleneck among African populations, or 3) brought humans to the brink of extinction.

Moreover, paleoclimatic reconstructions by Osipov et al (2021) from the same Lake Malawi sediments and the simulated magnitude of the volcanic winter climate perturbations are the least conflicting among arguments that discredit the Toba catastrophe theory. Climate model simulations do not corroborate the initiation of glaciation, but substantiate the global extent of strong climate cooling. Their global climate simulations with improved representation of stratospheric chemistry and aerosol mechanisms have shown that the volcanic winter effects are significantly less extreme than assumed originally. Their simulations suggested that the global mean cooling could peak at

3.5 °C (rather than 15 °C, assumed previously) and that the sulfate aerosol optical depth (which causes the radiative forcing of climate) returned to background levels within 4–5 years (rather than 20 years).

MORE EVIDENCE FROM AFRICA

Smith et al (2018) at two sites in South Africa (a series of coastal caves inhabited by early humans, called Pinnacle Point and an open-air site called Vleesbaai), sampled the sediments until they found microscopic evidence of the Toba eruption. Using a technique called optically stimulated luminescence, which indicates the last time a grain of sand was exposed to sunlight, those researchers were able to show that the two sites were occupied at the time of the eruption. What Smith et al (2018) found is that Toba did not interrupt the human occupation at the sites, and in fact, during the immediate aftermath of the catastrophe, human occupation intensified. The cores indicate that apparently the volcanic winter never took place, or was mild enough not to show up in the sediment record.



The archaeological site in a rockshelter called Pinnacle Point 5-6, on the south coast of South Africa near the town of Mossel Bay. The sediments dated to about 74,000 years ago. Source: Smith et al (2018).

A recent study by Kappelman et al (2024) on an archaeological site in northwest Ethiopia once occupied by early modern humans has added evidence that suggests the Toba event might not have been so apocalyptic as previously published. Microscopic fragments of volcanic glass found alongside stone tools and animal remains in the same layer of sediment at the Shifna-Metema 1 site, near Ethiopia’s Shifna River, show humans were occupying the site before and after the volcano erupted more than 6,000 km away.

The research found that humans in this location (Shifna-Metema 1), had the behavioural flexibility required to survive seasonally arid conditions and the apparent short-term effects of the Toba volcanic super-eruption in particular, and that were probably key to the following dispersal and subsequent worldwide expansion of modern humans out of Africa to the rest of the world.



Kappelman and his colleagues have collected thousands of bones, eggshell fragments and arrowheads from the site, called Shifna-Metema 1, Ethiopia. Source: New York Times.

CONCLUSIONS

The eruption of Toba volcano about 74,000 years ago was one of the largest eruptions of the last few million years and produced at least 2500–3000 km³ of dense rock equivalent pyroclastic ejecta. Of this, over 800 km³ and possibly as much as 2000 km³ constitute the Youngest Toba Tephra or YTT. The YTT covered a huge area of the globe and climate models and Greenland ice core data indicated that the ~74 ka Toba eruption was followed by a few years of intense cold and the global mean cooling could peak at 3.5 °C on a global scale.

Many and more recent genetic and archeological studies found no support for a genetic bottleneck at or near ~74 ka. Based on those studies and new

paleoenvironmental data, none of the most recent research found evidence to support the Toba catastrophe hypothesis and concluded that the Toba super-eruption did not produce a 6-year-long volcanic winter in eastern Africa, or caused a genetic bottleneck among African populations, or brought humans to the brink of extinction.



Actual view of Lake Toba and Samosir Island, Sumatra.

REFERENCES

- Yost, C., Jackson, L., Stone, J. and Cohen, A. (2018) Subdecadal phytolith and charcoal records from Lake Malawi, East Africa imply minimal effects on human evolution from the ~74 ka Toba super-eruption, *Journal of Human Evolution*, v. 116, Pages 75-94. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29477183/>
- Chesner, C. A., Rose, W. I., Deino, A., Drake, R., and Westgate, J. A. (1991) Eruptive history of the earth's largest Quaternary caldera (Toba, Indonesia) clarified: *Geology*, v. 19, p. 200-203.
- Lanea, C., Chornb, B. and Johnson, T. (2013) Ash from the Toba super-eruption in Lake Malawi shows no volcanic winter in East Africa at 75 ka. *PNAS*, v. 10, N 20, 8025-8029.
- Kappelman, J., Todd, L.C., Davis, C.A. et al. (2024) Adaptive foraging behaviours in the Horn of Africa during Toba super-eruption. *Nature* 628, 365-372. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07208-3>
- Morin, P. A., Moore, J. J., Chakraborty, R., Jin, L., Goodall, J., and Woodruff, D. S. (1994) Kin selection, social structure, gene flow, and the evolution of chimpanzees: *Science*, v. 265, p. 1193-1201
- Oppenheimer, C. (2002), Limited global change due to the largest known Quaternary eruption, Toba 74 kyr BP?, *Quat. Sci. Rev.*, 21, 1593-1609. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2002QSRv...21.1593O/abstract>
- Rampino, M. R., and Ambrose, S. H. (2000) Volcanic winter in the Garden of Eden: The Toba super-eruption and the late Pleistocene human population crash, in McCoy, F. W., and Heiken, G., eds., *Volcanic Hazards and Disasters in Human Antiquity*: Boulder, Colorado, *Geological Society of America Special Paper* 345.
- Rampino, M. R., and Self, S. (1993) Bottleneck in human evolution and the Toba eruption: *Science*, v. 262, p. 1955 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.8266085>
- Smith et al (2018) Humans thrived in South Africa through the Toba eruption about 74,000 years ago. *Nature*, 555, 511-515. <https://www.nature.com/articles/nature25967>



jcasas@geologist.com

Jhonny E. Casas es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela, y con una maestría en Sedimentología, obtenida en McMaster University, Canadá. Tiene 37 años de experiencia en geología de producción y exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados para diferentes cuencas en Canadá, Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador and Perú.

Autor/Co-autor en 56 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Caribbean Journal of Earth Sciences and Journal of Geological Engineering; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM, así como artículos históricos de exploración en la revista AAPG Explorer.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023). Advisory Counselor para AAPG LACR (2023-2026).

Ángulos Teóricos de las Fracturas de Riedel en la Zona de Cizalla Principal

Shunshan Xu

Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Instituto de Geociencias, Boulevard Juriquilla No. 3001, Juriquilla, Qro., Querétaro, CP 76230

Correo electrónico: sxu@geociencias.unam.mx

Resumen: Los patrones de cizalla de Riedel son observados frecuentemente en sistemas de fallas laterales. Las cuencas asociadas con cizalla de Riedel también han sido documentadas en diversos entornos tectónicos alrededor del mundo. Existen cuatro tipos principales de fracturas de Riedel: fracturas *T*, fracturas *R*, fracturas *R'* y fracturas *P*. Los análisis mecánicos de la cizalla simple y el círculo de esfuerzo de Mohr indican que el ángulo β de la cizalla de Riedel (*R*) es $\phi/2$, y no $(45^\circ - \phi/2)$, donde ϕ representa el ángulo de fricción interna de la roca.

Palabras clave: Cizalla, fracturas de Riedel, ángulo de cizalla

Abstract: Riedel shear patterns are commonly observed in lateral fault systems. Riedel shear-related basins have also been documented in various tectonic environments around the world. There are four main types of Riedel fractures: *T* fractures, *R* fractures, *R'* fractures, and *P* fractures. Mechanical analysis of simple shear and the Mohr stress circle indicate that the angle β of Riedel shear (*R*) is $\phi/2$, rather than $(45^\circ - \phi/2)$, where ϕ represents the internal friction angle of the rock.

Keywords: Shear, Riedel fractures, shear angle

TERMINOLOGÍA BÁSICA

Las fracturas de cizalla secundarias que se desarrollan a corta distancia de la falla principal, y que son contemporáneas a ella, se denominan fracturas de Riedel. Este término también se aplica a patrones de fallas a mayor escala, donde las fracturas individuales permanecen activas incluso después del desarrollo de otros tipos, permitiendo el movimiento sincrónico que acomoda la deformación en la zona de falla. La disposición geométrica de estas fracturas es indicativa del sentido del movimiento en la zona de cizalla, y su análisis es ampliamente utilizado para interpretar la evolución cinemática.

TIPOS Y ORIENTACIONES DE LAS FRACTURAS DE RIEDEL

Las fracturas de Riedel incluyen cuatro tipos:

- **Fracturas T:** Fracturas tensionales con orientación cercana a los 45° respecto a la zona de cizalla principal.
- **Fracturas R y P:** Fracturas de cizalla con un sentido sintético respecto a la cizalla principal.
- **Fracturas R':** Fracturas de cizalla con un sentido antitético.

Dos enfoques principales explican los ángulos de las fracturas R y P (Fig. 1). Según Bartlett et al. (1981), estas fracturas se orientan en un ángulo de $\varphi/2$ respecto a la zona de cizalla principal. Por otro lado, Ahlgren (2001) y Coelho et al. (2006) sugieren que el ángulo es $(45^\circ - \varphi/2)$. Para $\varphi = 30^\circ$, esto genera diferencias significativas: en el primer caso, el ángulo es 15° , mientras que en el segundo es 30° , lo que complica nuestra comprensión del ángulo de cizalla.

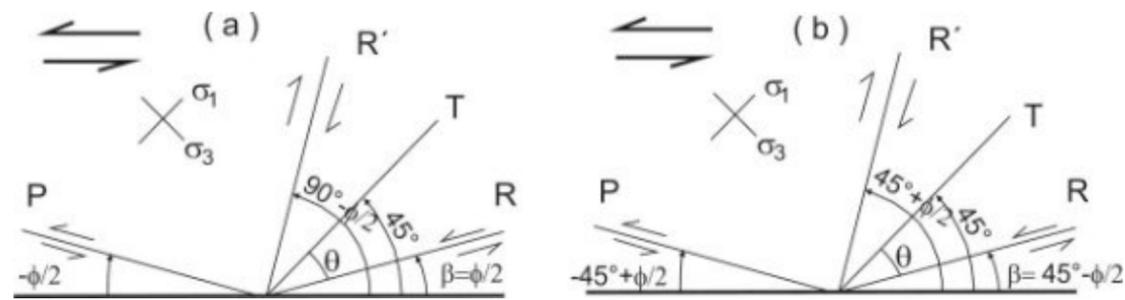


Figura 1. Ángulos de las fracturas de Riedel según (a) las modificaciones de Bartlett et al. (1983) y (b) las modificaciones de Ahlgren (2001). El ángulo φ representa el ángulo de fricción interna del material.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y CÍRCULO DE MOHR

Para entender el ángulo de cizalla de Riedel, analizamos el círculo de Mohr. Si se dibuja un elemento diferencial alrededor del punto analizado, con dos planos orientados según un sistema de ejes plano x-y y el tercero inclinado un ángulo genérico α (Fig 2a). En la sección, el esfuerzo normal es σ y el esfuerzo cortante es τ . Ahora encuentre la relación entre σ , τ y σ_1 , σ_2 .

Asumamos que el espesor como 1 y calcule como un problema plano según las condiciones de equilibrio estático.

$$\Sigma x = 0$$

$$\sigma_n \cdot \sin\alpha \cdot ds - \tau_n \cdot \cos\alpha \cdot ds - \sigma_3 \cdot \sin\alpha \cdot ds = 0 \tag{1}$$

$$\Sigma y = 0$$

$$\sigma_n \cdot \cos\alpha \cdot ds + \tau_n \cdot \sin\alpha \cdot ds - \sigma_1 \cdot \cos\alpha \cdot ds = 0 \tag{2}$$

Para la ubicación dada, según la resolución de la fuerza, el esfuerzo normal es

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos(2\alpha) \tag{3}$$

De manera similar, la tensión cortante es

$$\tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin(2\alpha) \tag{4}$$

Sumamos los cuadrados de las ecuaciones (3) y (4), usando una relación trigonométrica básica ($\cos^2 2\alpha + \sin^2 2\alpha = 1$) para combinar las dos ecuaciones anteriores obtenemos

$$\left(\sigma_n - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2 + \tau_n^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)^2 \tag{5}$$

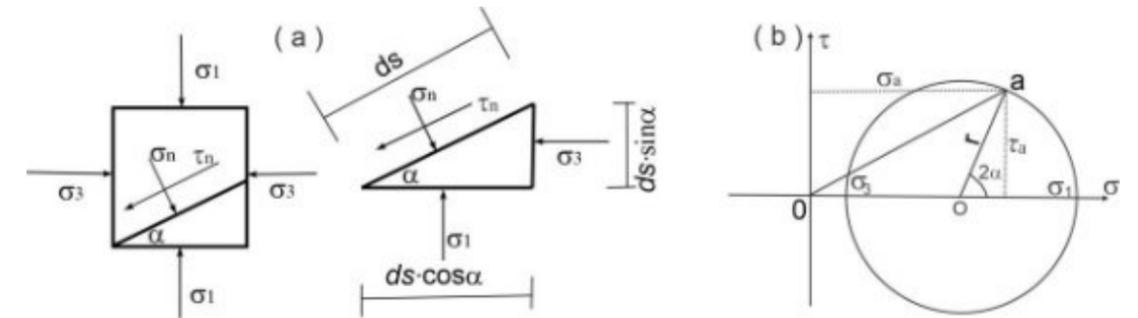


Figura 2. (a) Elemento diferencial alrededor del punto analizado en una pieza sometida a un estado de esfuerzo biaxial. (b) Círculo de Mohr de esfuerzos.

Esta es la ecuación de un círculo, trazada en un gráfico donde la abscisa es el esfuerzo normal y la ordenada es el esfuerzo cortante. El círculo está centrado en el valor del esfuerzo medio y tiene un radio r igual al esfuerzo cortante máximo, como se muestra en la Fig. 2b.

ÁNGULOS TEÓRICOS DE LAS FRACTURAS DE RIEDEL

¿cuáles son los ángulos verdaderos de las fracturas de Riedel? Esta pregunta se puede responder mediante el análisis de esfuerzos y el círculo de esfuerzos de Mohr. El estado de esfuerzo se muestra en la Figura 3a, donde el esfuerzo principal máximo es σ_1 y el esfuerzo principal mínimo es σ_3 . Aquí, α indica el ángulo entre la normal de un plano Riedel y el plano de σ_1 .

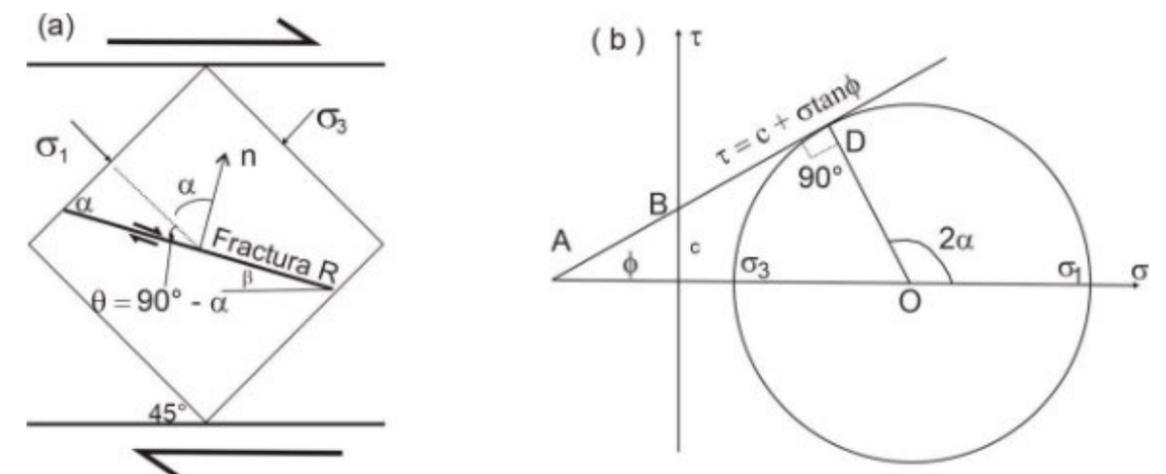


Figura 3. (a). Elemento de esfuerzo con esfuerzos máximos y mínimos que forman un ángulo de 45° respecto a la zona de cizalla principal. (b). Círculo de Mohr de esfuerzos. En las

figura, α es el ángulo entre la normal de un plano arbitrario y la fractura R , β es el ángulo entre la fractura R y la zona de cizalla principal, y ϑ es el ángulo entre la fractura R y el esfuerzo máximo σ_1 .

La línea AD en la Figura 3b es la línea de fractura según el criterio de fractura de Coulomb. Por lo tanto, la normal del plano fracturado con el esfuerzo principal máximo es:

$$\alpha = 45^\circ + \varphi/2 \quad (6)$$

Así, el ángulo entre el plano de fractura y σ_1 es:

$$\theta = 90^\circ - \alpha = 45^\circ - \varphi/2 \quad (7)$$

De acuerdo con la Figura 1, el ángulo de cizalla de Riedel es:

$$\beta = 45^\circ - \theta = \varphi/2 \quad (8)$$

Este resultado coincide con el supuesto de Bartlett et al. (1981), respaldado por experimentos análogos (Misra et al., 2009).

CONCLUSIÓN

El modelo de Riedel (1929) ha sido fundamental para entender las deformaciones en zonas de falla lateral. Aunque tradicionalmente se acepta que el ángulo de cizalla Riedel R es $\varphi/2$, otros estudios recientes consideran $(45^\circ - \varphi/2)$. Mediante análisis mecánico y el círculo de Mohr, se concluye que el ángulo correcto de las fracturas Riedel es $\varphi/2$, confirmando así la validez del modelo de Bartlett (1981).

Referencias:

- Ahlgren, S.G. (2001). The nucleation and evolution of Riedel shear zones as deformation bands in porous sandstone. *Journal of Structural Geology* 23, 1203-1214.
- Bartlett, W.L. Friedman, M. Logan, J.M. (1981). Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure Part IX. Wrench faults in limestone layers. *Tectonophysics* 79, 255-277.
- Misra S., Mandal N., Chandan Chakraborty C. (2009). Formation of Riedel shear fractures in granular materials: Findings from analogue shear experiments and theoretical analyses. *Tectonophysics* 471 253–259.
- Coelho, S., Passchier, C., Marques, F. (2006). Riedel-shear control on the development of pennant veins: Field example and analogue modeling. *Journal Structural Geology* 28, 1658-1669.
- Riedel, W. (1929). Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. *Zentralblatt für Mineralogie: Geologie und paleontologie B*, 354 -368.



Shunshan Xu is a structural geologist with a broad experience in fault dynamics, basin and petroleum geology, and largescale structures. He received a Ph.D. in 1998 from the China University of Geosciences (Beijing). Currently he is particularly interested in the kinematics and dynamics of faults, as well as the fractal behavior of faults and fractures. He has dedicated many years of research to the study of deformation in central Mexico, especially in the Mesa Central. His research and technical work have been documented in 33 publications including in SCI.



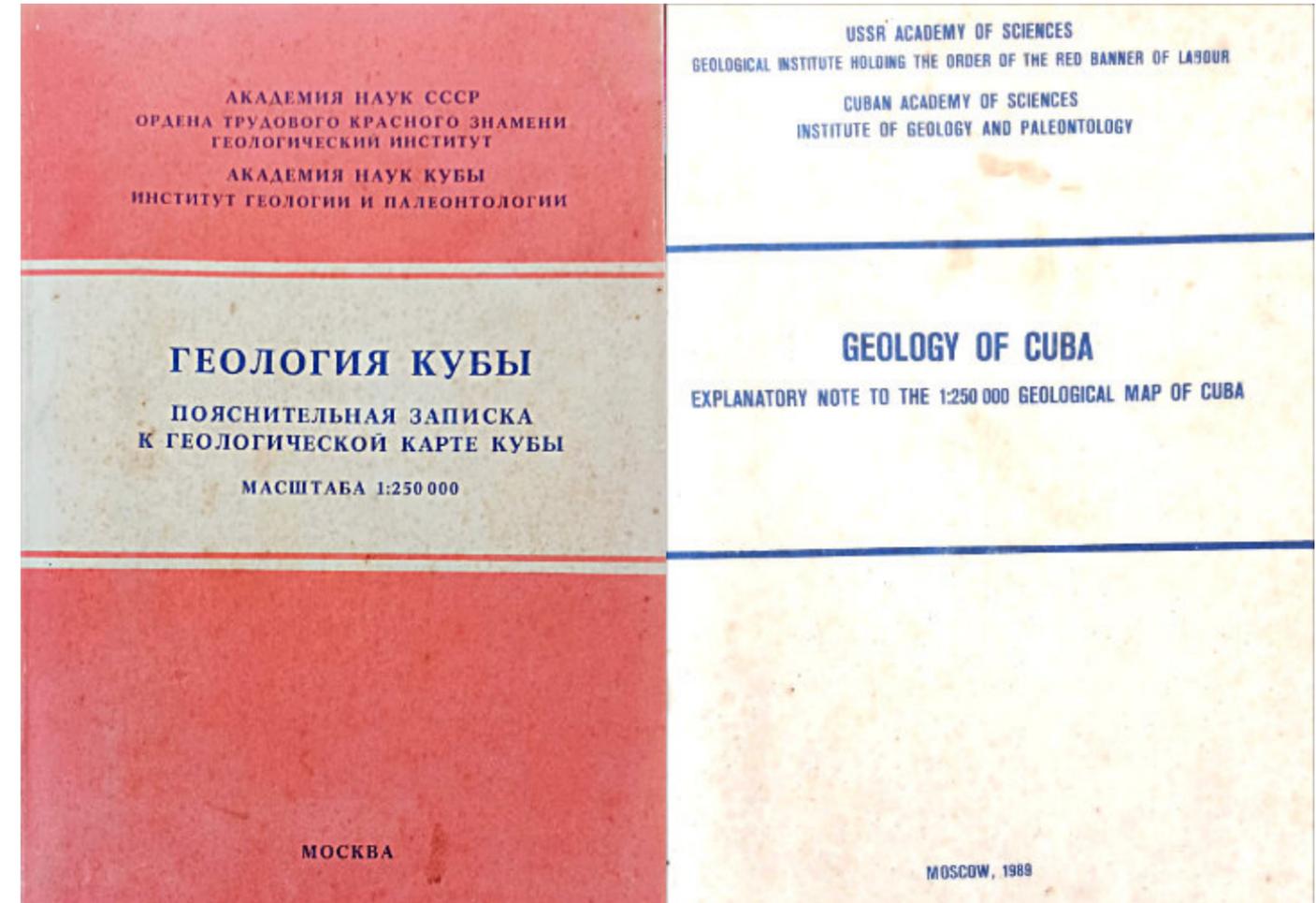
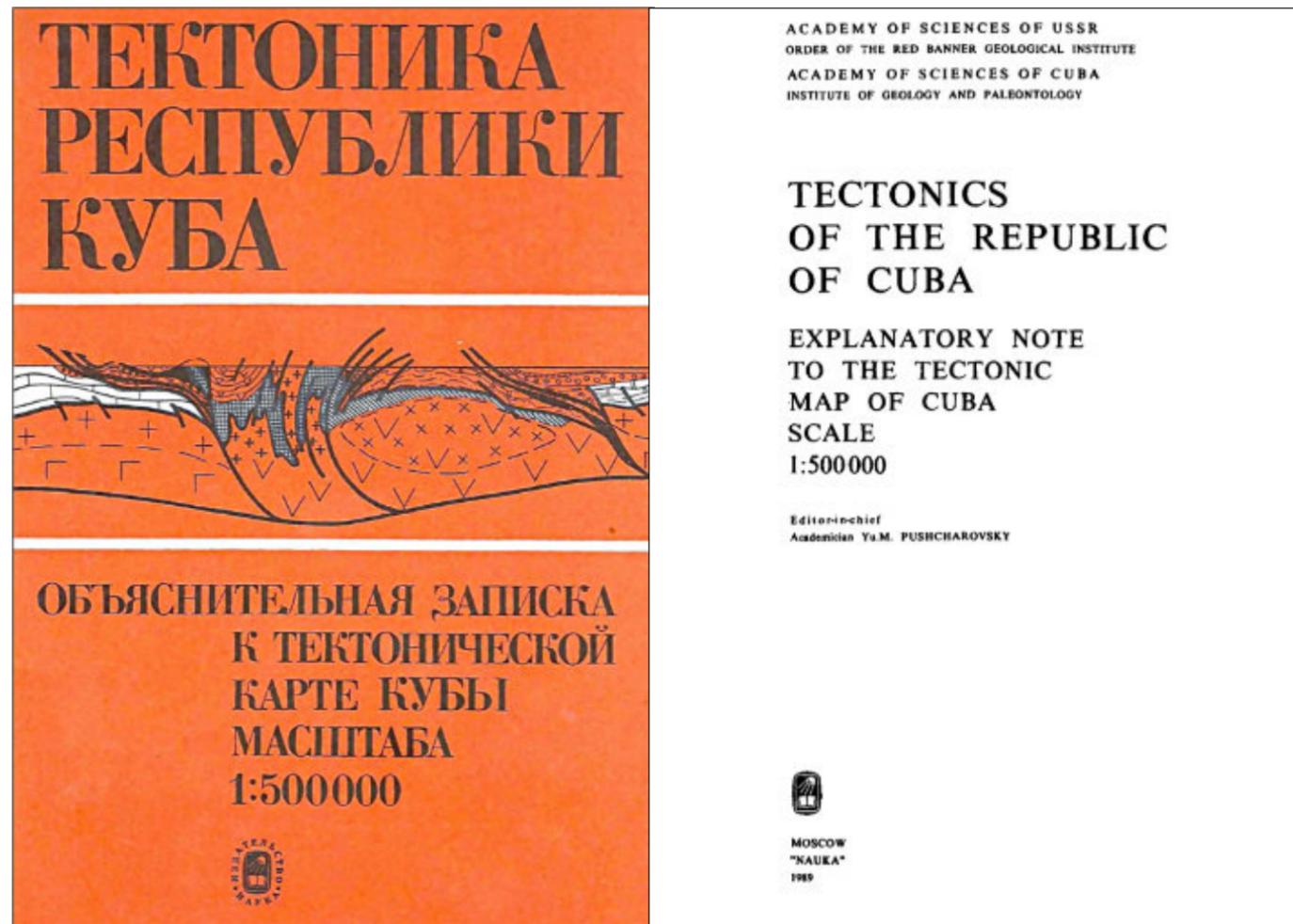
Pon un gramo de audacia en todo lo que hagas.

Baltasar Gracián

El autor del manuscrito titulado Papel de las ofiolitas en la formación y desarrollo de Cuba, es el **Dr. Francisco de Asis Formell Cortina**. El Dr. Formell fue uno de los coautores que participó activamente en la elaboración del mapa tectónico de Cuba a escala 1:500,000; obra finalizada en 1986 como resultado del trabajo conjunto de las Academias de Ciencia de la URSS y la Academia de Ciencias de Cuba.

En esta publicación de la Revista Maya de Geociencias el autor Formell Cortina nos ofrece una detallada exposición de la geología de los complejos ofiolíticos de Cuba, basado en los textos originales de las notas aclaratorias que acompañan al mapa Tectónico de Cuba; texto que se encuentra en lengua rusa y que no ha gozado de una traducción completa hasta la actualidad a pesar de la gran importancia para el conocimiento de la geología cubana y que refleja el enorme trabajo geológico realizado por los geólogos cubanos y rusos en el siglo XX.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2024/12/1989-Tectonic-map-of-Cuba-explanatory-note.pdf>



УДК 551.24(729.1)

Геология Кубы (Пояснительная записка к Геологической карте Кубы масштаба 1:250 000). Отв. редактор Ю.М. Пушчаровский. М. Геологический институт АН СССР, 1989.

Авторы: Ю.М. Пушчаровский, А.А. Моссаковский, Г.Е. Некрасов, С.Д. Соколов, Ф.Формель, Л.Пеньялвер.

UDK 551.24(729.1)

Authors: Yu.M. Pushcharovsky, A.A. Mossakovsky, G.E. Nekrasov, S.D. Sokolov, F. Formell, L. Peñalver.

PAPEL DE LAS OFIOLITAS EN LA FORMACIÓN Y DESARROLLO DE CUBA

Autor Francisco de Asís Formell Cortina¹

1 ORCID ID 0000-0003-2435-8464, <https://orcid.org/0000-0003-2435-8464>. franciscodeasisfc1939@gmail.com.

Resumen

Las rocas de la litosfera oceánica jugaron un papel principal en el origen y desarrollo del sistema de arcos de islas volcánicas de Cuba. Se distinguen y caracterizan cuatro grupos de ofiolitas:

- 1.-Ofiolitas del surgimiento del arco de islas volcánico del Jurásico-Cretácico.
- 2.-Ofiolitas de la cuenca de antearco, que se subdividen en tres segmentos: occidental, central y oriental.
- 3.-Ofiolitas de la colisión del retroarco Cretácico-Paleógeno contra el arco Jurásico-Cretácico.
- 4.-Ofiolitas de los complejos metamórficos alóctonos de Cuba oriental.

Abstract

Rocks of the oceanic lithosphere played a main role in the origin and development of Cuban volcanic island arcs. Four groups of ophiolites are distinguished and characterized:

- 1.-Ophiolites involved in the origin of the Jurassic-Cretaceous volcanic island arc.
- 2.-Ophiolites of the forearc basin which are subdivided in three segments: western, central and eastern.
- 3.-Ophiolites of the Cretaceous-Paleogene retroarc against the Jurassic-Cretaceous volcanic arc collision.
- 4.-Ophiolites of the allochthonous metamorphic complexes of eastern Cuba.

Introducción.

Dentro del término ofiolitas el autor comprende todas las rocas de la corteza oceánica y el manto superior diferenciadas por su densidad y gradiente térmico y sus

equivalentes metamorizados que constituyen el basamento de Cuba. Cuba es en esencia un sistema de arcos de islas volcánicas desarrollado sobre un mar marginal intracontinental con sedimentos de facies terrígeno-deltaicas y carbonatadas, donde desde sus inicios las ofiolitas jugaron un papel principal en su desarrollo, tanto durante el origen del sistema debido a la ocurrencia de un evento orogénico provocado por una burbuja mántica en una zona de rift, como después en la cuenca de ante arco que se creó al norte del sistema, y durante la colisión del arco con la placa norteamericana y que formó el cinturón ofiolítico principal desarrollado como un cordón en la cuenca de antearco a todo lo largo de Cuba desde occidente hasta oriente (ver Figura 1); Finalmente, las ofiolitas también formaron parte de un nuevo evento de colisión, en este caso de la estructura de retroarco Cretácico-Paleógeno, que colisionó contra el arco Jurásico-Cretácico y lo empujó y volcó con el surgimiento sincrónico en obducción de las ofiolitas de la región de Nipe-Cristal-Moa-Baracoa.

La falla de Cauto-Nipe marca claramente el límite entre las ofiolitas de Auras y las ofiolitas de Nipe-Cristal-Moa-Baracoa que se separan por un enorme y visible pliegue de arrastre que comba ambas estructuras regionales de forma siniestra, mostrando como las ofiolitas de Nipe-Cristal-Moa-Baracoa se vuelcan y cabalgan al arco Jurásico-Cretácico por el empuje de la estructura de retroarco del Cretácico-Paleógeno.

No es casual que tanto en el evento orogénico original del surgimiento del arco como en las sucesivas colisiones, las rocas del manto y la corteza hayan formado parte de esos eventos; el autor considera que en esos tiempos el espesor de la corteza oceánica era mucho menor del que se observa en la actualidad que es como promedio de unos 7 km, pero teniendo en cuenta que la Tierra se enfría de manera constante, es muy probable que durante el Mesozoico el espesor de la corteza oceánica haya sido mucho menor, permitiendo el fácil ascenso tanto de las rocas de la corteza oceánica como del manto superior igualmente a través de zonas de rift como de cuencas de ante y retro arco. A continuación se describen los diferentes eventos que dieron origen a las ofiolitas de Cuba.

Materiales y métodos.

Se utilizan los datos generados durante veinte años en el levantamiento geológico de Cuba a la escala de 1:250 000. Esta información fue generalizada y condensada en el texto explicativo al mapa correspondiente por Pusharovskiy et al.1989 del cual el autor, fue uno de los autores; también se utilizan datos propios del autor. Se realiza una reinterpretación del papel de las ofiolitas en el origen y desarrollo de los arcos de islas volcánicas de Cuba sobre la base de las nuevas ideas moviéndose usando el método inductivo-deductivo.

Ofiolitas del surgimiento del arco de islas volcánicas del Jurásico- Cretácico.

De acuerdo con las evidencias geológicas y paleontológicas, el arco de islas volcánicas surgió en el Jurásico superior probablemente en el Oxfordiano, en una zona de distensión creada en un mar marginal intracontinental, mediante un evento orogénico provocado por una burbuja mántica en ascenso que elevó las rocas de la litosfera oceánica y continental, creándose estructuras cuasi circulares como son los terrenos

Escambray y Pinos, con un núcleo formado por las rocas terrígeno-carbonatadas menos metamorizadas del fondo oceánico del mar marginal y una periferia más metamorizada constituida por las rocas de la litosfera oceánica y también rocas del basamento siálico (ver Figura 2); en esta orogenia inicial participaron por primera vez las ofiolitas representadas por distintos horizontes de la litosfera oceánica incluidas las rocas del manto superior; todas estas rocas sufrieron metamorfismo de alta presión y temperatura y están bien representadas en la estructura de los terrenos Escambray y Pinos como se detalla a continuación.

Las metaofiolitas del macizo del Escambray están representadas por lentes de antigorititas, entre las rocas metamórficas de la parte periférica del domo del Escambray y entre las anfíbolitas de Mabujina. Su posición estructural sugiere que ellas son los fragmentos del basamento de las zonas del Escambray y Zaza y son muy probablemente de edad Jurásico superior, y pueden considerarse miembros de la serie ofiolítica mesozoica, cuya formación se relaciona con el surgimiento del arco de islas volcánicas del Jurásico-Cretácico (Pusharovskiy et al., 1989).

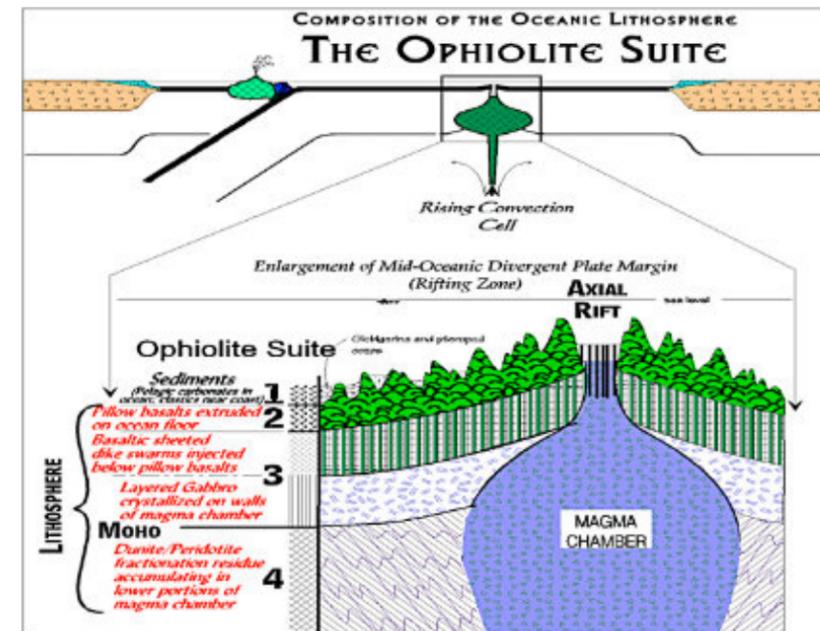


Figura 2. Esquema de la distribución de los sedimentos y los materiales de la litosfera oceánica en una burbuja mántica ascendente (Magma Chamber en la figura), en una zona de rift.

De acuerdo con Pusharovskiy et al., 1989, entre las rocas metamórficas de El Escambray se distinguen tres complejos litoestructurales de diferentes edades (Mossakovsky et.al., 1986), como se muestra en la (Figura 3).

El primer complejo incluye las rocas metaterrígeno-carbonatadas y metavulcanitas del núcleo de la antifirma de El Escambray. Las rocas que están metamorizadas en las facies de esquistos verdes y epidoto-anfibolíticas contienen restos de fauna del Mesozoico tardío (Somin y Millán, 1972, 1981), y sobre esta base la edad del metamorfismo se ha asumido que es del Mesozoico

tardío. El segundo complejo incluye las rocas altamente metamorizadas que subyacen la periferia de la antifirma de El Escambray. Estos son los esquistos Algarrobo, las anfíbolitas Yayabo y los esquistos de la Formación La Gloria. La paragénesis mineral de este grupo es de un carácter polimetamórfico complicado (Somin y Millán, 1981; Mossakovsky et.al., 1986; Dobretsov et.al., 1987). Los datos disponibles en esos momentos (Dobretsov y Dobretsova, 1989) sugieren que se pueden subrayar dos series de facies dentro de este grupo de rocas metamórficas. Una primera serie de carácter regresivo que incluye rocas de presiones moderadas, su más temprana paragénesis está representada por la asociación

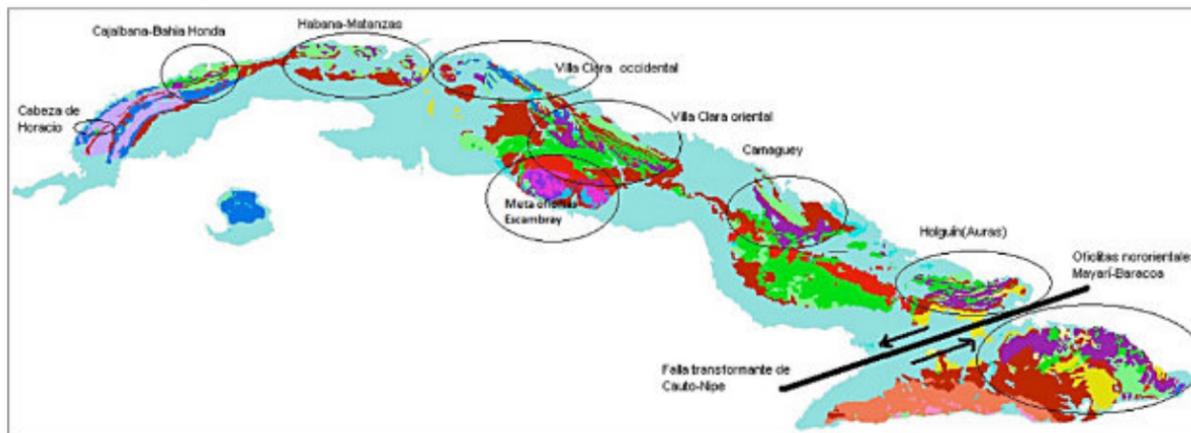


Figura. 1 Distribución de las ofiolitas en Cuba.

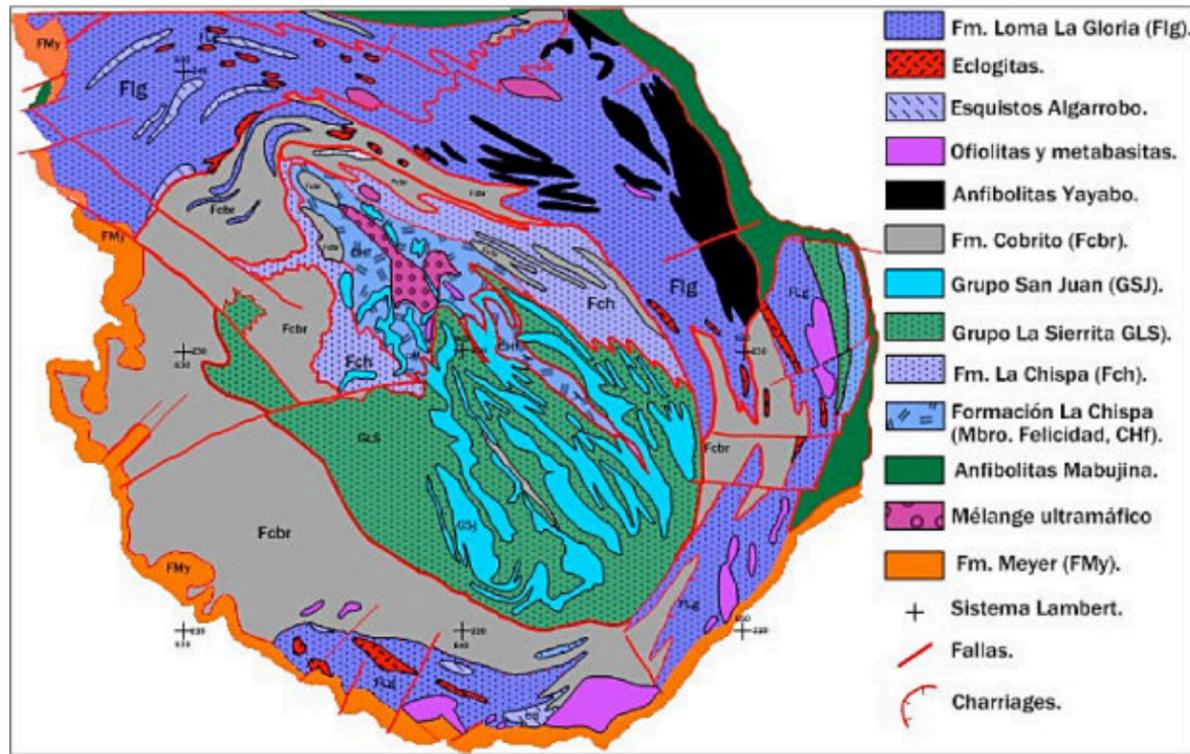


Figura 3. Mapa geológico simplificado de la Cúpula de Sancti Spiritus (tomado de Álvarez Sánchez, 2023).

de granate relíctico y clinopiroxeno en las anfibolitas y esquistos granato-glaucofánicos de Yayabo. Los clinopiroxenos relícticos en los esquistos glaucofánicos Algarrobo y las metabasitas en los esquistos Algarrobo propiamente dichos están probablemente relacionados al mismo estadio metamórfico. El siguiente estadio metamórfico se manifiesta por la aparición de la paragénesis del granate, anfíbol, glaucofana y albíta en las metabasitas y eclogitas y la asociación de cuarzo, mica blanca, granate y albíta en las rocas leucocráticas.

La segunda serie incluye rocas de más altas presiones y está representada por eclogitas con una zonación progresiva en granates y clinopiroxenos teniendo transiciones a esquistos granato-glaucofánicos.

En opinión de Mossakovski y otros (1980) las rocas de las series de metamorfismo regresivo en los fragmentos del basamento cristalino siálico del macizo del Escambray (esquistos Algarrobo y posiblemente La Gloria) y las del basamento metamórfico plegado melano-crático de la zona Zaza (anfíbolitas Yayabo) han sido expulsadas como escamas tectónicas en la porción periférica de la antiforma del Escambray y tectónicamente están sobrecorridas sobre las rocas de altas presiones y metamorizadas repetidamente en las facies glaucofánicas de esquistos verdes. De acuerdo con algunos autores (Somin y Millán, 1981; Dobretsov et al., 1987; Dobretsov y Dobretsova, 1989) las rocas intensamente metamorizadas de la parte exterior de la antiforma del Escambray son similares al complejo Francisco y deben ser interpretadas como melange y olistostromas, cuya matriz arenosa se

correlaciona con la Formación San Cayetano del Jurásico inferior-medio, aunque Álvarez Sánchez H., 2023 opina que esa denominación carece de base, señalando que las unidades periféricas metaterrígenas (Formaciones Loma la Gloria, Herradura, etc.) y calcáreas (Formación Cobrito) constituyen unidades secuenciales con contactos definidos y mapeables y plena coherencia interna no relacionables con melanges u olistostromas.

El complejo metamórfico Mabujina se desarrolla adyacente al norte de las capas metaterrígeno-carbonatadas de la antiforma del Escambray. Este complejo ha sido caracterizado muy completamente por Somin y Millán (1972, 1981) y por I. Boyanov et al., (1975). De acuerdo con estos autores, el complejo está representado principalmente por anfíbolitas y en forma subordinada por gneises biotito-anfíbólicos y biotito-granatíferos. Según Boyanov et al., (1975) los gneises constituyen una capa independiente. Los gneises plagiograníticos y los plagiogranitos ocurren exclusivamente dentro de las capas de gneises de forma concordante y están cortados por diques de anfíbolitas. L.V. Somin mediante el método termo-isocrónico plomo-plomo determinó la edad de cristalización de los gabroides como 480 ± 3 m.a. y de los procesos secundarios como 100 ± 50 m.a. La edad de las anfíbolitas fue determinada por el mismo método y arrojó un valor de 530 m.a. (Somin et al., 1985). Ellos también realizaron determinaciones por el método de potasio-argón que dieron una serie de valores oscilando entre 60 y 89 m.a lo cual es mucho más coherente con las evidencias geológicas.

Según Pusharovskiy et al., (1989), los datos geoquímicos disponibles de este complejo muestran como una característica de los componentes de sus metabasitas un elevado radio Zr/Y y alto contenido de Cr y Ti, y por lo menos en algunos de ellos altos contenidos de Y. Esto sugiere que las metabasitas de Mabujina se pueden correlacionar con basaltos intraplacas y difieren tanto de los basaltos calco-alcalinos cretácicos de arco de islas de la parte axial de Cuba como de los basaltoides del cinturón ofiolítico principal de Cuba. Estos datos no permiten al autor considerar que las anfíbolitas de Mabujina sean partes metamorizadas de las rocas volcánicas cretácicas de Zaza, más probablemente este complejo sea resultado de un pulso independiente posterior a la burbuja mántica que originó el arco volcánico de Cuba central.

Si bien la superposición tectónica del Complejo anfíbolítico Mabujina sobre el Escambray se había supuesto por la Expedición Escambray I, a partir de las interpretaciones antecedentes sobre las relaciones entre ambos complejos (Thiadens, 1937; Hill, 1959; Somin y Millán, 1976), no fue hasta las etapas finales de la Expedición Escambray II, cuando el Pozo Estructural No. 5 de profundidad 330 m cortó sucesivamente dentro del sector Norte de la Cúpula de Trinidad, vulcanitas del arco de Zaza, anfíbolitas de Mabujina y las secciones del Escambray. Por primera vez se obtuvo una prueba no especulativa del cabalgamiento de los complejos Mabujina y Arco Volcánico de Zaza sobre el Escambray (Álvarez Sánchez, 2023), (ver también Millán y Somin; 1985b; página 29). Entonces, sin lugar a dudas, tanto las anfíbolitas Mabujina como las vulcanitas de Zaza cabalgan a las rocas del Escambray y por tanto su edad de emplazamiento es posterior al evento orogénico inicial del Escambray-Pinos. No queda entonces otra alternativa que considerar a Mabujina y Zaza como pulsos independientes de burbujas mánticas ascendentes posteriores, que elevaron a la superficie fragmentos antiguos de la corteza oceánica y el manto en pulsos sucesivos del desarrollo del sistema de arcos de islas cubano del Jurásico-Cretácico inferior.

Ofiolitas de la cuenca de antearco.

La zona de la sutura principal ofiolítica representa una cuenca de mar marginal destruida la cual estuvo situada entre el margen continental de Norteamérica y el arco de islas proto-cubano del Jurásico-Cretácico tal y como es interpretada por todos los investigadores. En esta cuenca se depositaban los sedimentos abisales de la Formación Santa Teresa que se extienden con interrupciones prácticamente a todo lo largo de la cuenca.

De acuerdo con las investigaciones geofísicas (Bovenko et al., 1978; Shein et al., 1978; Bush y Shervakova, 1986), la sutura ofiolítica principal es una zona de fallas que buza al sur con un ángulo de 65° hasta una profundidad de 55 km

y está rellena con material ultrabásico. Un pronunciado cambio regional en los campos gravitacional y magnético y un cambio gradual en el espesor de la corteza terrestre (de acuerdo con los datos sísmicos) corresponden a esta zona. Su traza en la superficie es un sistema de grandes macizos ultrabásicos representados morfológicamente y estructuralmente por un número de escamas sobrecorridas, bloques y cuerpos sinformes suaves. De acuerdo con los datos geofísicos y de perforación el espesor total de las escamas ofiolíticas alóctonas es superior a los 4 km.

Una característica típica de la secuencia de las escamas ofiolíticas es la sucesión gradual de las distintas formaciones que la integran. De acuerdo con A. L. Knipper (1975), I. Kantchev et al. (1978) y E. Fonseca et al. (1985) la base de la secuencia está representada por harzburguitas y dunitas serpentinizadas de entre 1000-2000 m de espesor transformadas en distinto grado en melange. En la zona marginal de la sutura ofiolítica las rocas ultrabásicas contienen un gran número de bloques de rocas metamórficas, predominantemente melanocráticas (en particular anfíbolitas granatíferas y eclogitas).

La estratificación de los complejos ofiolíticos puede ser observada en Camagüey donde las rocas están tectonizadas en menor grado. Allí el melange ultrabásico está sobreyacido por gabros olivínicos, troctolitas, anortositas y gabros anfíbólicos tectonizados y bandeados cuyo espesor total varía de 100 a 1000 m. Estas rocas están reemplazadas por un complejo de diques paralelos de diabasas entre 700-1500 m de espesor el cual gradualmente pasa a variolitas de almohadas, espilitas y diabasas con raras intercalaciones de silicitas y lutitas (su espesor es de casi 600m); recientemente las últimas han sido agrupadas en la Formación Zurrupandilla. Los rasgos petroquímicos de estas rocas volcánicas sugieren su pertenencia a la serie toleítica de tipo oceánico (Fonseca et al., 1985, Iturralde-Vinent 1989).

Segmento occidental.

La Zona estructuro-formacional de Bahía Honda, que ocupa la parte nordeste de la provincia de Pinar del Río, es análoga a las zonas de la sutura ofiolítica principal y de Zaza de la parte central de Cuba. Los datos geológicos directos y los resultados de la perforación paramétrica profunda (pozos Mariel y Martín Mesa) no dejan ninguna duda de la posición alóctona de esta zona, cuyas rocas recubren tectónicamente las formaciones de la zona estructuro-formacional septentrional de Sierra del Rosario (ver Figura 4). De forma general, en la composición de la zona de Bahía Honda de acuerdo con Pusharovskiy, et al., 1989, se destacan dos grandes unidades estructurales de mantos de sobrecorrimientos: la inferior, Cajálbana, y la superior, San Diego de Núñez.

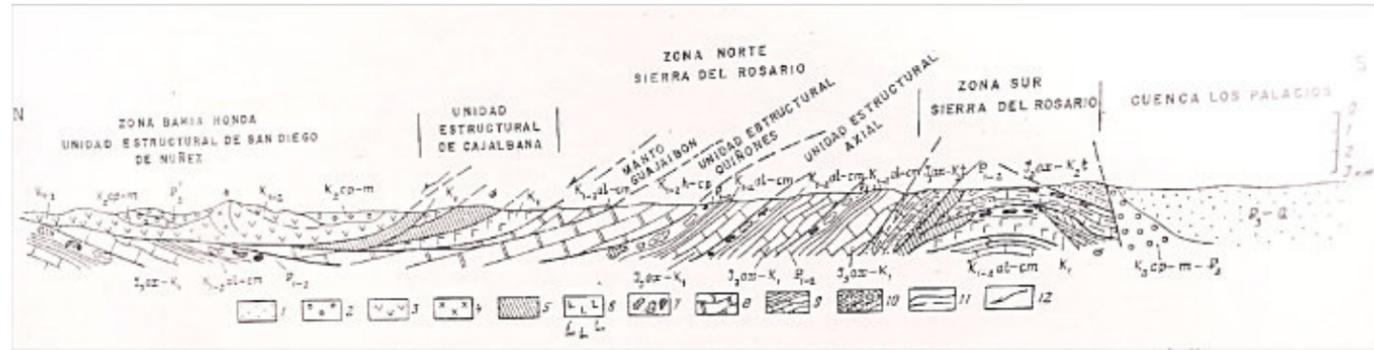


Figura 4. Perfil geológico del segmento occidental según Pusharovskiy et al., 1989. (se escribe la leyenda).

Perfil tectónico a través del sistema montañoso Sierra del Rosario y de la Depresión de Los Palacios.

1.-Cubierta sedimentaria del Cenozoico tardío; 2-6 Zona Bahía Honda, 2.-Complejo molásico del Cretácico tardío-Paleógeno medio (Formaciones Vía Blanca, Capdevila, y también San Juan y Martínez en la Depresión Los Palacios), 3.-Complejo vulcanógeno-sedimentario Cretácico (Formaciones Encrucijada, Orozco), 4.-Intrusiones del Cretácico tardío de dioritas y granodioritas, 5-6.- (5-ultrabasitas incluyendo el melange serpentinitico, 6 serie toleítico-basáltica del Cretácico inferior), 7-9 Zona norte de la Sierra del Rosario: 7-Olistostromas del Paleoceno-Eoceno medio (Formación Pica-Pica, 8- Escamas tectónicas de las formaciones carbonáticas cretácicas Guajaibón y Quiñones (Formaciones Lucas, Sierra Azul, Guajaibón), 9.- Formaciones Jurásico-Cretácico inferior de la unidad estructural axial (Formaciones Artemisa, Polier, Buenavista), 10.- Zona sur Sierra del Rosario (Formaciones San Cayetano, Artemisa, Jurásico superior-Cretácico inferior), 11.- Fallas, sobrecorrimientos, rocas ubicadas encima de corrimientos, 12.-Dirección del desplazamiento de las masas rocosas.

La unidad estructural de Cajalbana es un sobrecorrimiento inclinado hacia el norte bajo un ángulo de 35°-50° que yace sobre las unidades estructurales superiores de la zona norte de la Sierra del Rosario (Guajaibón y Quiñones). Esta unidad se caracteriza por la secuencia volcada de rocas estratificadas (de las jóvenes a las antiguas), posteriormente desmembrada en una serie de escamas tectónicas de segundo orden inclinadas hacia el norte y separadas entre sí por lentas y bandas de un melange serpentinitico (Mossakovskiy y Albear, 1978). La posición estructural inferior en ella la ocupa la escama tectónica que contiene capas alternantes de silicitas, areniscas, limolitas, argilitas silíceas, calizas, y rocas vulcanógeno-sedimentarias de edad Cenomaniano-Turoniano (Formación Orozco, 300-600 m).

Ella se recubre con la escama tectónica de las rocas volcánicas representadas por los basaltos africos con estructura esferoidal y las brechas de aglomerados de la misma composición que contienen intercalaciones subordinadas de calizas, rocas silíceas y tobas de edad Cretácico inferior, de unos 500 m de espesor. Según el quimismo de estas rocas, ésta es una asociación toleítica de tipo oceánico (Fonseca, 1985). Más arriba se extiende la escama tectónica de gabros formada, según los datos de E. Fonseca y V.P. Zelepuguin (Fonseca, 1985), por los gabros y gabro-diabasas de grano medio y fino anfibolizados y bandeados con una potencia inestable entre 100 hasta 800 m.

La posición estructural más alta la ocupa la escama de rocas ultrabásicas representadas por harzburgitas, lherzolitas, dunitas y piroxenitas serpentinizadas, en algunos lugares convertidas en melange serpentinitico, interrumpidas por el complejo de diques de diabasa. La potencia máxima de esta escama alcanza hasta 1.5 km en

el macizo de Cajalbana (Fonseca, 1985), aunque frecuentemente no supera los varios cientos de metros.

La unidad estructural de San Diego de Núñez que está tectónicamente sobrecorrida desde el norte hacia la unidad estructural de Cajalbana, al contrario de ésta, posee una secuencia normal de las rocas estratificadas (de las más antiguas a las más jóvenes). En su base se encuentra un paquete vulcanógeno-sedimentario (lavas y lavo-brechas de composición basáltica y andesítica), con horizontes de silicitas, calizas, aleurolitas y argilitas de edad Aptiano-Albiano (Formación Encrucijada) de hasta 900 m de potencia, la cual por el corte hacia arriba se sustituye concordantemente por el paquete de tobas andesito-dacíticas con horizontes de lavas basálticas, de areniscas tobáceas y conglomerados de edad Cenomaniano-Turoniano (Formación Orozco, 500 m), Fonseca E., 1985.

Más arriba, con hiatus stratigráfico y discordancia angular, yace un complejo de depósitos de molasa formados en su parte inferior por conglomerados vulcanomícticos, gravelitas, areniscas rítmicamente estratificadas, limolitas y tufitas silíceas del Campaniano-Maestrichtiano, y en la parte superior por los paquetes flyschoides de limolitas, areniscas y conglomerados de la Formación Capdevila (300-400 m) del Eoceno inferior. De acuerdo con Pusharovskiy et.al. 1989, la unidad estructural de San Diego de Núñez constituye una sinforma grande, separada por fallas transversales cuyos flancos están formados por paquetes de rocas vulcanógeno-sedimentarias cretácicas y el núcleo por las molasas campaniano-maestrichtianas y del Eoceno medio. La particularidades de la composición y de la secuencia stratigráfica de los depósitos de las unidades estructurales de la zona de Bahía Honda permiten, con certeza, compararlas con las zonas estructuro-

formacionales correspondientes de la parte central de Cuba: la unidad estructural de Cajalbana se compara con los alóctonos ofiolíticos de la sutura ofiolítica principal y la unidad estructural de San Diego de Núñez con la zona Zaza (Pusharovskiy et.al., 1989).

Depósitos cretácicos análogos según su composición a los complejos del tipo "eugeosinclinal" son conocidos en la parte sudeste del occidente de Cuba, en la región de los Palacios, donde se cortaron por una perforación profunda por debajo de la potente cubierta de los depósitos paleógenos, neógenos y cuaternarios. Los materiales geofísicos existentes (magnetométricos, gravimétricos y sísmicos) confirman también el amplio desarrollo de las formaciones vulcanógenas cretácicas y las ofiolitas en el fundamento de la depresión de Los Palacios

Segmento central.

La sutura principal ofiolítica separa la región del cratón norteamericano de las estructuras del arco volcánico Jurásico-Cretácico situadas inmediatamente al sur de la misma. En la composición de este elemento estructural entra la zona de sutura propiamente dicha y una zona de alóctonos ofiolíticos exprimidos de ella y sobrecorridos hacia el cratón (fragmentos de la corteza oceánica tardía), comprimidos como resultado de la colisión del cratón norteamericano con el arco insular Mesozoico. La zona de sutura propiamente dicha (Knipper y Cabrera, 1974) representa una zona de falla, con un ancho de 5 a 10 km, de material ultrabásico que se hunde hacia el sur bajo un ángulo de 65° hasta una profundidad de 55 Km. A esta zona corresponde un cambio regionalmente expresado en el carácter de los campos gravitacional y magnético y la variación escalonada del espesor de la corteza terrestre, según los datos sísmicos.

Los alóctonos ofiolíticos representan según sus relaciones morfológicas, un sistema de cuerpos sinformes planos, estratificados en una serie de escamas y bloques, cuya potencia total de acuerdo con los resultados de la perforación y los datos geofísicos no supera los 4 Km (ver Figura 5). El corte de las escamas y bloques ofiolíticos se caracteriza por una secuencia típica para estas formaciones, según la yacencia de las rocas. Según los datos de Knipper (1975), Kantchev et al., (1978), y Fonseca, Zelepuguin y Heredia (1985), la base de corte está formada por dunitas y harzburgitas serpentinizadas frecuentemente en forma de melange, con diferentes grados de desarrollo y una potencia de 1000-2000 m. En Camagüey donde el grado de tectonización es menor, se puede observar su carácter estratificado. En los límites de la zona radical de las ofiolitas (zona de sutura) en las ultrabasitas, se destacan una gran cantidad de bloques e inclusiones tectónicas más pequeñas de rocas metamórficas de carácter melanocrático predominante, en particular, anfibolitas y eclogitas granatíferas.

Las partes superiores del corte de las escamas ofiolíticas están constituidas por los gabros olivínicos tectonizados. Las anortositas, las troctolitas y los gabros anfibólicos (con una potencia de 100-1000 m). Después viene el complejo de diques paralelos (con una potencia de 700-1500 m), el cual pasa gradualmente a variolitas con forma de almohada, espilitas y diabasas con escamas de capas de rocas silíceas y argilitas (de una potencia hasta 600 m). El complejo basáltico se agrupa en la Formación Sagua la Chica; su edad, según su posición en el corte, se determina como Jurásico tardío-Cretácico temprano y por otros investigadores como Cretácico temprano. (Pusharovskiy et.al., 1989).

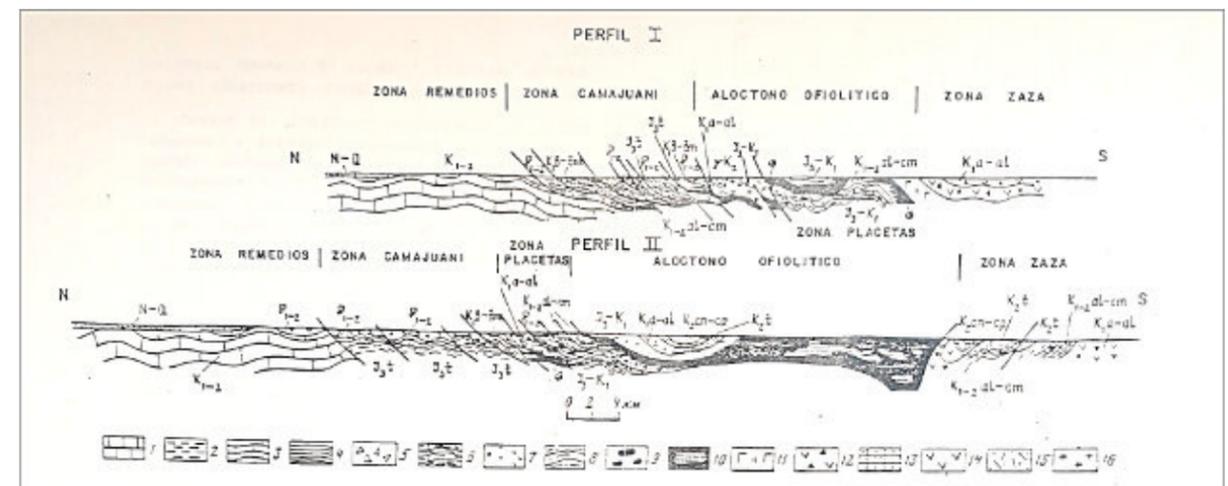


Figura 5. Perfiles geológicos del segmento central según Pusharovskiy et.al., 1989.

Perfiles tectónicos a través de Cuba central: I-este (a través de las antiformas Placetas, Jarahueca, y otras), II-oeste (a través de la antiforma Santa Clara, Manajanabo y otras).

1.-Formaciones de la Zona Remedios, 2-5-Formaciones de la Zona Camajuani: 2- Trocha, 3- Margarita y Paraíso, 4- Mata, 5- Vega, 6-9 Formaciones de la Zona Placetas; 6- Constancia y Veloz, (Fidencia), 7-Carmita y Santa Teresa, 8- Rodriguez y Amaro, 9-Vega Alta, 10-15- Formaciones de los alóctonos ofiolíticos marginales y de los complejos arco-insulares de la Zona Zaza: 10- Ultrabasitas y gabros con bloques de rocas metamórficas, 11- Zurrupandilla, 12- Matagua, 13- Provincial, 14- Bruja, 15- Grupo Tasajera, 16- Granitos

Las partes superiores del corte varían esencialmente en dependencia de la posición estructural de las escamas ofiolíticas, por ejemplo, en el núcleo de la sinforma de Santa Clara, las ultrabasitas, los gabros, basaltos y las diabasas de la Formación Zurrupandilla se recubren por las tobas andesíticas y las toba-brechas del Alpiano-Cenomaniano (Formación Mataguá). Sobre ellas yacen de forma transgresiva los conglomerados santonianos, las areniscas, margas y tobas de composición media y ácida de la Formación Cotorro (con una potencia de entre 900-1500 m). Más arriba, en forma discordante, yacen las areniscas, margas, limolitas, tobas y calizas de la Formación Santa Clara del Maestrichtiano-Paleoceno (con una potencia de 350 m), después, también discordantemente, yacen los flyschoides del Eoceno Inferior-Medio (Formación Ochoa).

Al sudeste, en la región de la sinforma Falcón, el corte de la parte superior de la cobertura vulcanógeno-sedimentaria tiene otra constitución. Por encima de las tobas y calizas del Albiano-Cenomaniano yacen las vulcanitas, las tobas, calizas y las rocas terrígenas del Santoniano-Maestrichtiano (formaciones Cotorro y Carlota). Luego yacen en forma transgresiva las areniscas, margas y calizas del Maestrichtiano Superior. En los cortes de las escamas ofiolíticas que se hunden hacia el sur por debajo de la serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica de la zona Zaza, los basaltos y diabasas de la Formación Zurrupandilla se cubren tectónicamente por las tobas andesítico-basálticas del Albiano-Cenomaniano de una gran potencia (Formación Mataguá). Su potencia es dos o tres veces superior a la potencia de las tobas análogas que yacen sobre la Formación Zurrupandilla en las sinformas de Santa Clara y Falcón.

La zona Zaza, que se desarrolla más al sur, abarca toda la parte axial de la Isla de Cuba. La zona está constituida por rocas vulcanógeno-sedimentarias de edad Cretácico inferior-superior. En sentido estructural ella constituye una enorme sinforma asimétricamente estructurada, complicada en algunos lugares por estructuras de sinforma y antiforma menores y por deformaciones de sobrecorrimiento a lo largo de un sistema de fallas transformantes de dirección nordeste. Su límite norte está constituido por un plano de falla de compleja configuración por el cual las rocas vulcanógeno-sedimentarias de la zona Zaza sobrecorren en distintos lugares los elementos estructurales de la sutura ofiolítica principal. Entre Camagüey y Santa Clara, el plano de esta falla está deformado en un sistema de sinformas y antiformas relacionadas entre sí en forma de coulisses, que se hunden bruscamente por debajo de los paquetes vulcanógeno-sedimentarios de la zona Zaza. En la provincia de Santa Clara y más al occidente, en la región Habana-Matanzas, esta falla poco a poco se hace vertical y después comienza a tener un buzamiento inverso, como resultado de lo cual las rocas de la sutura ofiolítica principal se vuelcan hacia atrás y en forma de pliegues acostados se colocan sobre los complejos vulcanógeno-sedimentarios de la zona Zaza (Mossakovski, Albear, 1978).

Los resultados del sondeo sísmico (Bovenko y otros, 1978) señalan que la zona Zaza se caracteriza por tener una

potencia inestable de la corteza Terrestre (20-30 km) con predominio en su composición de las rocas de la capa "basáltica" (hasta 20 Km) y por la capa "granítica" bruscamente reducida e inestable, con potencia de 3.5-8 Km).

Según las características de las velocidades y propiedades de la densidad de la capa "basáltica" de la corteza terrestre, esta zona puede ser comparada con las anfibolitas, eclogitas y otras rocas metamórficas melanocráticas, que se encuentran en forma de inclusiones en las ultrabasitas de la Sutura Ofiolítica Principal y también con las rocas metamórficas melanocráticas de los complejos de Mabujina y Yayabo (Bovenko y otros, 1978). Las velocidades límites de la capa "granítica" aquí (6.2-6.3 Km/seg), en general son más altas que las velocidades habituales para la corteza terrestre de tipo continental (5.5-6.3 Km). En una serie de lugares donde la superficie de esta capa está a menor profundidad (3.5 Km) se cortaron mediante pozos, rocas intrusivas de composición básica. Estos materiales permitieron a los investigadores (Echevarría et al., 1974; Bovenko et al., 1978) suponer, que algunas partes de la corteza, en el flanco occidental, la zona (costa sur de Cuba occidental-Golfo de Batabanó) posee un corte de tipo suboceánico.

**Segmento oriental.
Zona estructuro-formacional de Auras.**

La zona Auras posee una estructura escamosa de mantos, donde se imbrican las rocas de la asociación ofiolítica y del arco volcánico Jurásico-Cretácico; estos mantos están sobrecorridos de sur a norte sobre las rocas de la zona Remedios (Gibara). Aquí se destacan tres complejos alóctonos independientes (o unidades estructurales), (Pusharovskiy et al., 1989, ver figura 6).

El complejo inferior incluye un sistema de escamas descritas de forma detallada por M.T. Kozary (1968) constituidas por las rocas vulcanógeno-sedimentarias de la Formación Iberia, por el paquete de olistostromas de Yaguajay y por las ultrabasitas serpentinitizadas y tectonizadas, que en ocasiones se convierten en melange. El complejo alóctono medio está formado por una escama potente de ultrabasitas serpentinitizadas y tectonizadas en diferente grado. Las ultrabasitas se recubren por los macizos de calizas de Tinajita expresados claramente en el relieve en forma de colinas.

El complejo alóctono superior que ocupa la parte sur de la zona de Auras, está formado en la base por serpentinitas con cuerpos de gabro-diabasas y rocas del complejo cumulativo, de composición básica y ultrabásica, las cuales se recubren por el paquete terrígeno de la Jíquima, el que a su vez se sustituye poco a poco por el paquete de olistostromas de Haticos, (Pusharovskiy et al., 1989). La Formación Iberia está constituida principalmente por secuencias piroclásticas (tobas y aglomerados de composición básica y media con horizontes de andesitas, andesito-basaltos, basaltos y diques de diabasa). En cantidad subordinada se encuentran areniscas tobáceas y vulcanomícticas, conglomerados y calizas; las calizas contienen fauna del Albiano-Cenomaniano y Turoniano.

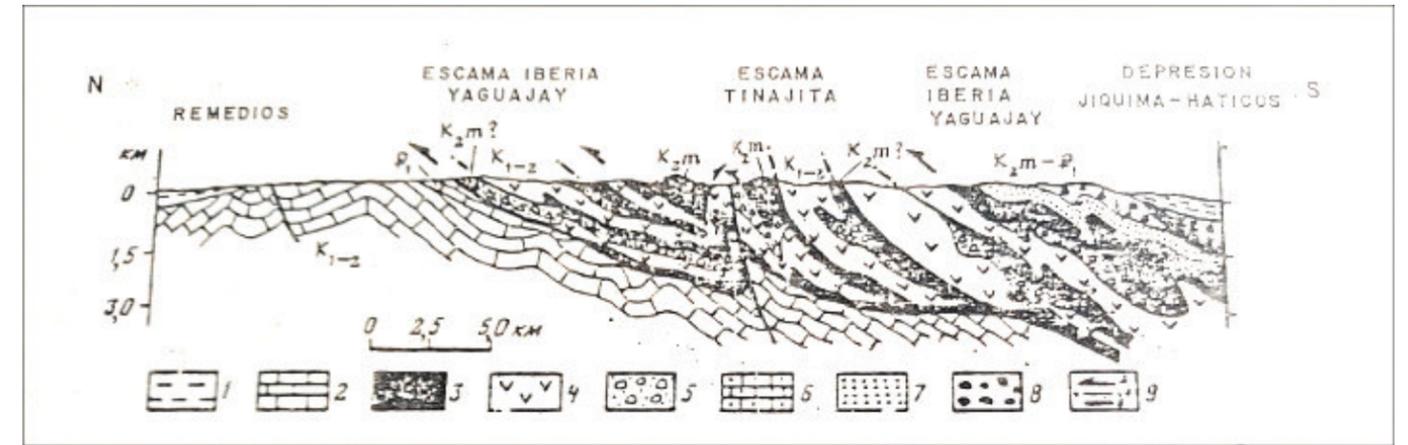


Figura 6. Perfil geológico del segmento oriental, según Pusharovskiy et al., 1989.
Perfil tectónico a través de las zonas Remedios y Auras.
1-Neoautóctono, 2-Zona Remedios, 3- Ultrabasitas, 4- Formación Iberia, 5- Melange Yaguajay, 6- Calizas Tinajita, 7- Formación La Jíquima, 8- Olistostromas Haticos, 9- Dislocaciones tectónicas: A- Rocas ubicadas encima del sobrecorrimiento, B- Escamas, C- Fallas inversas.

En la composición de la Formación entran la asociación carbonatada La Morena (Albiano-Turoniano), las calizas pelágicas de Lindero (Campaniano-Maestrichtiano), las calizas de aguas someras organógeno-detriticas y ofiolíticas de Tinajita (Campaniano-Maestrichtiano) y también la asociación terrígena La Jíquima, aunque la pertenencia de las dos últimas unidades a la Formación Iberia es objeto de discusión, debido a la asociación de las calizas de Tinajita a las ultrabasitas del complejo alóctono medio, lo cual la aísla estructuralmente de la Formación Iberia, cuyo campo principal de desarrollo está asociado al complejo alóctono inferior. Así mismo se encuentra separada de la Formación Iberia la asociación terrígena de La Jíquima la cual participa en la estructura de las escamas tectónicas de la unidad estructural superior. De acuerdo con Pusharovskiy et al., 1989, las rocas terrígenas de la Formación La Jíquima se encuentran estructuralmente por encima de las escamas de ultrabasitas. Ellas están representadas principalmente por areniscas vulcanomícticas, con paquetes flyschoides de rocas arenisco-limolíticas interestratificadas. La potencia de la Formación es de 300 m y más y su edad es Campaniano-Maestrichtiano, es decir, la misma que tiene la parte superior de la Formación Iberia y las calizas de Tinajita. Todo esto señala que durante el Cretácico Tardío, en la zona de Auras, existían situaciones estructuro-faciales variadas, las cuales determinaron en algunos lugares la acumulación de calizas de aguas someras de Tinajita directamente sobre los salientes elevados del fundamento melanocrático, mientras en otros lugares ocurría la formación sobre el mismo fundamento ultrabásico, de las series vulcanógeno-sedimentarias oceánicas o de arco insular (Formación Iberia) o de las series terrígenas flyschoides de tipo de mar marginal (Formación La Jíquima).

En la composición de los complejos alóctonos de la zona de Auras y en particular de algunas escamas tectónicas

que la componen, han tenido un amplio desarrollo los complejos caóticos (melange y olistostromas).

El melange de Yaguajay es una formación caótica constituida por bloques de entre 1 a 10 m de serpentinitas, gabros, gabro-diabasas, diabasas, vulcanitas de la Formación Iberia y calizas de Lindero y Tinajita. Los afloramientos de Yaguajay se encuentran a lo largo del contacto de las rocas de la Formación Iberia y de las serpentinitas. Al mismo tiempo, su potencia varía de algunos metros hasta 1 kilómetro. El paquete se encuentra muy tectonizado, lo que sirvió como base para relacionarlo con el melange. Sin embargo, en algunos lugares se observa la matriz terrígena. Esto permite relacionar a Yaguajay como un olistostroma tectonizado. Teniendo en cuenta su posición en la estructura escamada entre las rocas de la Formación Iberia y las serpentinitas, se puede suponer que las formaciones olistostromáticas culminan el corte de la Formación Iberia y se recubren tectónicamente por las serpentinitas. La edad de la formaciones caóticas es, con toda probabilidad, Maestrichtiano-Paleoceno, (Pusharovskiy et al. 1989).

La Formación Haticos también está representada por formaciones caóticas, en las cuales el papel esencial lo juegan las brechas sedimentarias, y los conglomerado-brechas mal seleccionados y débilmente estratificados. Entre los fragmentos predominan las diabasas, los gabro-diabasas, los microgabros, las doleritas y las serpentinitas. Las brechas son monolíticas, pero los fragmentos de rocas magmáticas son diferentes, según sus particularidades estructurales y texturales. Las brechas que contienen fragmentos de rocas vulcanógenas se encuentran raramente. Las dimensiones predominantes de los fragmentos es de 1 a 10 m, pero hay fragmentos más gruesos, bloques y olistolitos grandes de diabasas, gabro-diabasas, serpentinitas y de brechas serpentínicas. En algunos cortes que presentan intercalaciones de lentes de areniscas, tobas y rocas carbonatadas, se observa

claramente la estratificación. La Formación Haticos de acuerdo con su posición estratigráfica, se relaciona al Paleoceno inferior.

Ofiolitas de la colisión del retroarco Cretácico-Paleógeno con el arco de islas volcánico del Jurásico-Cretácico.

La zona de Nipe-Cristal-Baracoa posee una estructura compleja; aquí se destacan una serie de complejos alóctonos y paraalóctonos formados por la serie vulcanógeno-sedimentaria jurásico-cretácica y la asociación ofiolítica que incluye los macizos de rocas ultrabásicas y gabroides más grandes de Cuba (Adamovich y Chejovich, 1964), (ver figura 7). De acuerdo con sus características estructurales, esta zona representa una antiforma enorme débilmente combada en dirección sublatitudinal. El núcleo de la antiforma está constituido por la serie vulcanógeno-sedimentaria del Jurásico superior-Cretácico, la cual puede considerarse como paraalóctono y los flancos, por los macizos de rocas ultrabásicas, de gabros y formaciones metamórficas. La serie vulcanógeno-sedimentaria jurásico-cretácica de la zona de Nipe-Cristal-Baracoa está formada por andesitas, basaltos, dacitas, tobas estratificadas, tufitas, tobasilitas, con horizontes de diabasas, aglomerados, conglomerados y capas de calizas de poco espesor.

En dependencia de la presencia de las vulcanitas de composición ácida y del grado de metamorfismo de las rocas, en la serie vulcanógeno-sedimentaria examinada se destacan una serie de formaciones; sus cortes desarrollados hacia la parte nordeste del macizo ultrabásico de Sierra del Cristal y que contienen vulcanitas de composición ácida se agrupan en la Formación Santo Domingo de edad Albiano-Turoniano. Las vulcanitas básicas y medias y las rocas sedimentarias que se les subordinan del Albiano-Cenomaniano que se distribuyen en la parte sudeste de este mismo macizo ultrabásico fueron denominadas también como Formación Santo Domingo (Iturralde-Vinent, 1976).

Los análogos metamórficos, de estas rocas vulcanógeno-sedimentarias, que se encuentran al sur del macizo ultrabásico de Moa-Baracoa, fueron agrupados en la Formación La Farola o Sierra del Purial (Cretácico inferior-Cretácico superior), incluyendo el Campaniano. Su potencia se calcula en 1 000 m. (Mossakovskiy et al., 1989) El complejo paraalóctono Jurásico-Cretácico descrito se recubre tectónicamente por los macizos alóctonos de las rocas ultrabásicas de Moa-Baracoa en la parte oriental y de la Sierra Cristal en la parte occidental, también se recubre estratigráficamente (conjuntamente con las rocas ultrabásicas del macizo de Moa-Baracoa) en la región de Sagua de Tánamo, por una serie terrígena (formaciones La Picota y Mícará) de edad Maestrichtiano-Paleógeno.

En la base de la serie terrígena Maestrichtiano-Paleógeno están desarrollados los conglomerados mal seleccionados, abigarrados, muy potentes y las brechas y conglomerados de tipo basal. Ellos están compuestos de fragmentos de las rocas del complejo vulcanógeno-sedimentario subyacente y también de gabros, serpentinitas, dioritas y calizas. La composición de los guijarros de los conglomerados varía bruscamente en dependencia de la composición de los

depósitos subyacentes. Por ejemplo, a lo largo del extremo occidental del macizo ultrabásico-gábrico de Moa, en las capas basales, predominan los fragmentos de las rocas del macizo, aunque el espectro general de los cantos se mantiene polimíctico.

Este tipo de capas basales habitualmente se distingue bajo el nombre de Formación La Picota, aunque algunos investigadores (Cobiella, 1974) utilizan este nombre para las formaciones olistostromicas caóticas, desarrolladas en el mismo complejo terrígeno.

En relación con esto, Nekrasov et al., 1989, consideran incorrecto unir bajo la misma denominación de Formación La Picota a los conglomerados y brechas polimícticas campaniano-maestrichtianas, que bordean al sur del macizo de Pinares de Mayarí, con las brechas ultrabásicas y turbiditas maestrichtiano-paleocénicas que rodean el macizo de la Sierra del Cristal. El nombre Formación La Picota debe ser conservado para denominar solamente los conglomerados y brechas campaniano-maestrichtianos, que bordean el macizo de Pinares de Mayarí por el sur, donde ellos fueron descritos por primera vez (área de la loma La Picota). Las brechas y turbiditas harzburguíticas monomícticas del Maestrichtiano-Paleoceno, que rodean el macizo de Sierra Cristal deben ser distinguidas en trabajos ulteriores en forma independiente como la Formación Arroyón, que aflora en magníficos cortes en la cuenca del río Arroyón, a lo largo del viejo camino Mayarí-Sagua de Tánamo y también en el camino Sagua de Tánamo-Guantánamo (Nekrasov et al., 1989).

La parte superior de la serie terrígena posee una composición flyschoides, arenosa, limolítica, pero además contiene numerosos horizontes de formaciones de deslizamiento submarino (turbiditas y olistostromas) y paquetes característicos de turbiditas tobáceas. Ella se distingue frecuentemente bajo el nombre de Formación Mícará. Entre las formaciones de olistostromas, a su vez, se distinguen los endoolistostromas, que están compuestos de productos del deslizamiento submarino de las rocas terrígenas de la Formación Mícará, y los exoolistostromas, que poseen una composición serpentinitica y gabro-diabásica de los olistolitos.

Los paquetes grisaseo azulosos, característicos de las turbiditas tobáceas, están formados casi completamente de fragmentos de rocas serpentinizadas y se caracterizan por la frecuente estratificación gradacional. Con ellos se encuentran relacionadas las intercalaciones de tobas y de lentes de material vulcanógeno, de composición ultrabásica. En dirección occidental, hacia el macizo alóctono de rocas ultrabásicas de la Sierra del Cristal, la cantidad y la potencia de los paquetes de turbiditas y de exoolistostromas aumentan bruscamente y aparecen los horizontes y lentes de lava-brechas de composición ultrabásica.

En el extremo oriental del macizo de Sierra del Cristal, ellos sustituyen paulatinamente los depósitos de fondo de la Formación Mícará y se "intercalan" con los potentes cuerpos de las rocas ultrabásicas. Algunos investigadores (Pavlov y otros, 1973) consideran los macizos alóctonos de rocas ultrabásicas de Sierra del Cristal y Moa-Baracoa,

como un cuerpo intrusivo único con forma de lacolito, explicando las diferencias en sus estructuras por tener diferentes cortes de erosión. En el macizo de Moa-Baracoa, cuya naturaleza alóctona no se pone en duda, predominan las harzburguíticas, dunitas, wehrlitas, lherzolitas, lherzolitas de plagioclasa, piroxenitas y la asociación de gabro-troctolita (o sea, las rocas de una serie relativamente algo "ácida"); están también desarrolladas las menas cromíticas del tipo alumínico alto.

Las rocas ultrabásicas y básicas forman la escama tectónica superior, mientras que la escama tectónica inferior, cuyo corte se abre los ríos Quiviján y Jojo, está formada según los datos de A. L. Knipper (1975) por basaltos esferoidales toleíticos y por rocas silíceas de edad cretácica, de una potencia de algunas centenas de metros. La composición y secuencia de las rocas que forman estas dos escamas tectónicas, que conforman el macizo de Moa-Baracoa, recuerdan un corte invertido de la asociación ofiolítica del Mesozoico tardío, incluyendo el fundamento melanocrático y la corteza oceánica.

El macizo recubre tectónicamente las formaciones vulcanógeno-sedimentarias metamorizadas de la Formación La Farola y al mismo tiempo, se encuentra recubierto de forma transgresiva por la Formación maestrichtiano-paleocénica de Mícará, lo que permite

fijar la edad del sobrecorrimiento como pre-maestrichtiano (Knipper, 1975).

Según Mossakovski y otros, (1989) en el macizo de Sierra Cristal no hay rocas características para la parte superior de la asociación ofiolítica. Ellos señalan que el macizo está constituido por las harzburguíticas, el complejo bandeado de dunita-harzburguíticas y también las menas de espinelas cromíferas con alto contenido de cromo, mientras que otros autores reportan el desarrollo de la serie de diques paralelos de gabrodiabasa (Fonseca, 1985). Por otra parte, es un hecho que la naturaleza alóctona del macizo está expresada claramente sólo en la parte oriental del mismo, mientras que en su parte occidental, según los datos geofísicos, se puede suponer una raíz profunda (o un canal conductor), como consideran N.V. Pavlov y otros (1973), los que mantienen el punto de vista de la naturaleza intrusiva de los macizos ultrabásicos. Efectivamente, las anomalías gravitacionales intensas, positivas, que alcanzan 150-180 mgal., testimonian sobre la potencia considerable de las hiperbasitas en la parte occidental del macizo y sobre su continuación debajo de las depresiones de Cauto-Nipe. La potencia de las ultrabasitas, según diferentes cálculos, se valora en 4-12 Km sobre el fondo de la potencia bruscamente reducida de la Corteza en esta parte oriental de Cuba de hasta 4-16 Km.

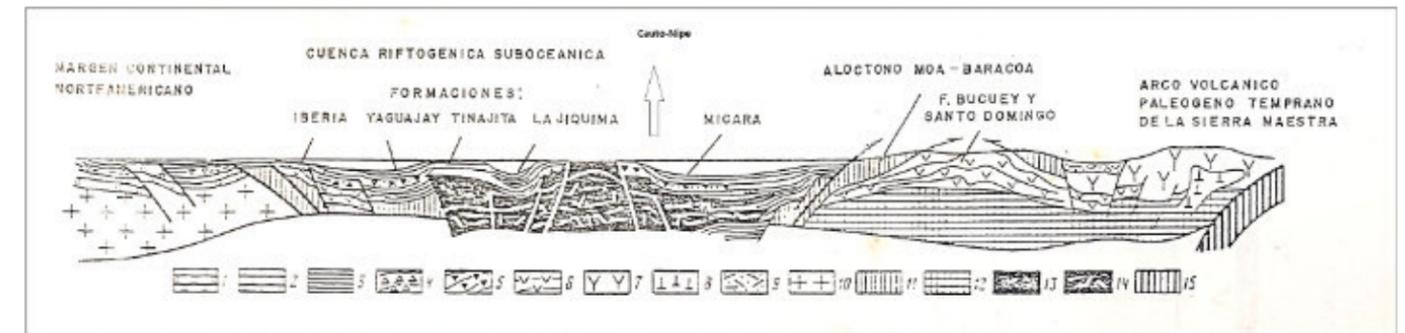


Figura.7 Perfil geológico de Cuba oriental según Pusharovskiy et al., 1989 (modificado).

Perfil paleotectónico a través de Cuba oriental para el Campaniano-Paleoceno.

- 1.-Depósitos carbonatados de la plataforma del margen continental norteamericano, 2-Depósitos de bancos carbonatados en la elevación de la cuenca interior (calizas Tinajita), 3- Depósitos turbidíticos flyshoides, terrígenos (Formaciones La Jiquima y Mícará), 4- Olistostromas con composición carbonatada de los olistolitos, 5- Olistostromas polimícticos con predominio de composición básica y ultrabásica de los olistolitos (Formación Yaguajay), 6-7 Vulcanitas arco insulares: 6-cretácicas, 7- Paleógeno temprano, 8- cuerpo subvolcánico: 9- Sedimentos tufito-terrígenos de la parte posterior del arco volcánico Cretácico-Paleógeno (Formación Gran Tierra), 10- Corteza de tipo continental: 11- Fragmentos y escamas tectónicas de la corteza oceánica del Mesozoico, 12- Corteza de tipo transicional, 13-14 Rocas ultrabásicas obducidas: 13- facies plutónica, 14- facies de sobreempuje, 15- Corteza oceánica del Cenozoico.

Todo esto permitió suponer a Mossakovski y otros (1989), la existencia de un diapiro del Manto en la base de la parte occidental del macizo de Nipe-Cristal. Según estos autores, el proceso de Formación de las rocas del macizo de la Sierra de Nipe-Cristal no fue simultáneo, la parte sudoeste del macizo (Pinares de Mayarí) posee una edad precampaniano, es decir, aquí las ultrabasitas se recubren erosionalmente por los conglomerados campaniano-maestrichtianos de La Picota. Sin embargo, en la parte oriental del macizo, al lado de las rocas precampanianas,

está evidentemente desarrollada la asociación vulcanógeno-plutónica del Maestrichtiano-Paleoceno, más joven, sobre lo que atestiguan los horizontes singenéticos de lava-brechas ultrabásicas y tobas en partes de la Formación Mícará adyacentes al macizo; consecutivamente, la posición alóctona de esta parte fue provocada por los bajos corrimientos tectónicos más jóvenes, del Eoceno-medio-tardío. De este modo, se puede suponer fundamentalmente, que el proceso de Formación de los sobrecorrimientos en la zona Nipe-

Cristal-Baracoa fue muy activo y bastante dilatado, abarcando el intervalo de tiempo entre el Campaniano y el Eoceno medio.

El autor sin embargo considera que el origen alóctono de las ofiolitas de Nipe-Cristal-Moa-Baracoa en su conjunto se debe a la colisión del retro arco Cretácico-Paleógeno probablemente en el Campaniano cuando el arco de islas volcánico Jurásico-Cretácico colisionaba con el cratón norteamericano retardando su movimiento al este como resultado de la colisión, mientras la estructura de retro arco que se desarrollaba al sur y mantenía su desplazamiento al este, colisionaba entonces con el segmento más oriental del arco Jurásico-Cretácico provocando el surgimiento de los materiales de la litosfera oceánica de la cuenca de rift en el frente del retro arco y obduciéndolos sobre aquel, (ver figura 8).

Muchas son las evidencias que pueden apoyar este razonamiento, en primer lugar el carácter alóctono de todas las ofiolitas de esos macizos en su conjunto que las diferencia dramáticamente del resto de las ofiolitas del cordón ofiolítico septentrional, mientras aquellas al oeste de la falla de Cauto Nipe son cabalgadas por el arco Jurásico-Cretácico, aquí, son las ofiolitas de Nipe-Cristal-Moa Baracoa las que cabalgan al arco Jurásico-Cretácico, también el amplio desarrollo de las formaciones olistostrómicas tanto endo como exolistostrómicas evidencian esfuerzos tectónicos provenientes del suroeste es decir, de la dirección de empuje del retroarco; por otra parte la concepción de Mossakovky y otros de la ocurrencia de un diapiro mántico divergente que separaría a Nipe de Cristal-Moa-Baracoa puede explicarse de forma mucho más convincente razonando que las grandes anomalías gravimétricas que se observan bajo Nipe puede deberse en realidad a una ruptura profunda en el manto expresada en superficie por la falla sincrónica de

desplazamiento horizontal levógiro que separa y comba con pliegues de arrastre que aún en la actualidad se distinguen perfectamente en la morfología, al macizo de Auras del macizo de Nipe y que evidencia además la existencia de movimientos de sobre empuje de dirección suroeste-nordeste.

Figura 8 Direcciones de empuje del retroarco Cretácico-Paleógeno sobre el arco Jurásico-Cretácico y obducción de las ofiolitas.

La existencia indudable de la gran falla de desplazamiento horizontal de Cauto Nipe explica también la tectónica de cabalgamientos sucesivos de las ofiolitas y las vulcanitas jurásico-cretácicas en la estructura combada de Auras, tampoco apoya la concepción de Mossakovskiy de la ocurrencia de un diapiro ultrabásico divergente la evidente disparidad geólogo-geomorfológica entre Nipe al este y Auras al oeste; mientras Nipe es una estructura masiva resultado del cabalgamiento de las rocas del manto de la cuenca de riftogénesis por el empuje y obducción del retroarco Cretácico-Paleógeno, en Auras se presentan secuencias alternantes de vulcanitas y ultrabasitas tectónicamente sobreempujadas, en ambos casos se evidencia el carácter tectónico de las dos estructuras resultado de movimientos de sobre empuje y deslizamiento horizontal más bien que, resultado de una intrusión diapírica como proponen Pavlov y Mossakovskiy para Nipe.

Toda la estructura geológica de Cuba al este de la falla de Cauto-Nipe está controlada por la colisión en el Campaniano del retroarco Cretácico-Paleógeno contra el arco Jurásico-Cretácico. Esta colisión comenzó por Nipe al oeste y se extendió hacia el este sucesivamente en el

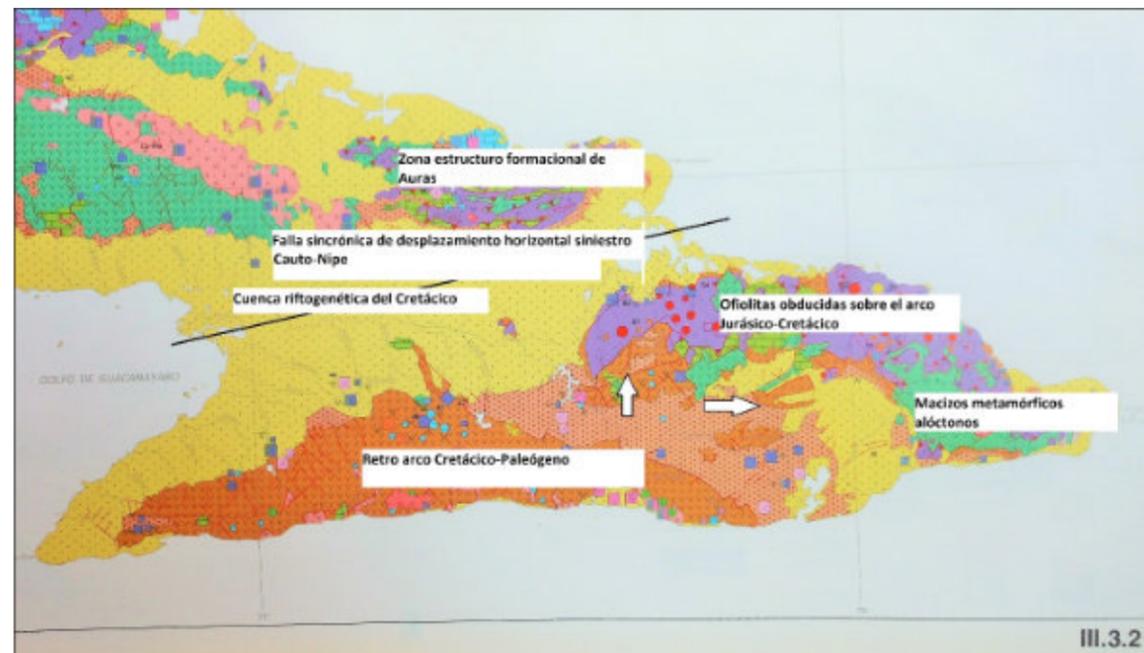


Figura 8. Direcciones de empuje del retroarco Cretácico-Paleógeno sobre el arco Jurásico-Cretácico y obducción de las ofiolitas.

tiempo y espacio hasta el Eoceno-medio con la extinción definitiva del retroarco.

Ofiolitas de los complejos metamórficos alóctonos de Cuba oriental.

En la parte oriental de Cuba se distingue una zona independiente de rocas metamórficas mesozoicas semejantes a la zona que se desarrolla en la parte sur del segmento central de Cuba. Aquí se desarrollan también complejos metamórficos en forma de afloramientos aislados, descubriéndose en las ventanas tectónicas o formando escamas tectónicas entre las ultrabasitas y la serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica. Por ejemplo, las series de Asunción y Güira de Jauco y también la Formación de La Corea.

La mayoría de los complejos metamorfozados, conocidos en la parte más oriental de Cuba, están en las montañas de la Sierra del Purial. Aquí, en una ventana tectónica por debajo de la formación vulcanógeno-sedimentaria alterada a rocas verdes, del Cretácico tardío (Formación Purial), se abren en el siguiente orden, de la parte occidental a la oriental: las ofiolitas metamorfozadas de la serie Güira de Jauco y la serie de Asunción (Somin y Millán, 1981). Las ofiolitas están representadas por serpentinitas, diabasas, microgabros y blastomilonitas que contienen asociaciones minerales de altas presiones (Boiteau y otros, 1972). La serie de Güira de Jauco está constituida por anfibolitas y plagiogneises con cuerpos de hornblenditas, gabro-anfibolitas, harzburgitas serpentinitizadas e interrelaciones de metasilitas. Somin y Millán comparan las anfibolitas de Güira de Jauco con las anfibolitas de Mabujina, su edad radiológica aquí es sin lugar a dudas mesozoica ($73,2 \pm 6$; $75,4 \pm 3,4$; 65 mil/años método K-Ar) al igual que la edad de las anfibolitas de Mabujina (Somin y otros, 1985).

Las ofiolitas de Güira de Jauco se encuentran subrecorridas sobre la serie metamorfozada de Asunción, la cual se divide en dos formaciones (Somin y Millán, 1981): Sierra Verde en la parte occidental y Chafarina en la parte oriental. La primera formación está constituida por esquistos sericíticos, filitas con interrelaciones de metasilitas, calizas cristalizadas y tobas alteradas a rocas verdes de composición básica y media y cuerpos de diabasas y basaltos. En las calizas se encuentran Calpionélidos, Nannoconus y Radiolarios recrystalizados, los cuales permiten datar esta Formación como Tithoniano-Cretácico temprano. La Formación Chafarina contiene los mármoles de dolomita y de calcita con contenidos de grafito, micas y bitúmenes e intercalaciones de metasilitas. La microfauna encontrada permite asignarle una edad de Jurásico tardío.

Otro afloramiento gigantesco de rocas metamórficas es la Formación La Corea, conocida en la parte sureste del macizo ultrabásico de Sierra del Cristal, donde ellas forman una escama tectónica independiente, o "inclusión" en la base del macizo. La Formación La Corea se encuentra representada por anfibolitas, cuarcitas, esquistos talco-serpentínicos, grafiticos, sericíticos, moscovíticos y glaucofánicos. Una parte de las rocas

metamórficas se formó a partir de las vulcanitas de composición básica y media, en condiciones de altas temperaturas y temperaturas, la otra parte, a partir de rocas terrígenas, silíceas y arcilloso-silíceas (Somin y Millán, 1981). El bloque de rocas metamórficas de La Corea representa una brecha tectónica de rocas de diferentes génesis, las cuales fueron deformadas y aplastadas en complejos pliegues de varias generaciones. La edad de los esquistos se determinó (Método K-Ar) en 79 ± 32 mill/años, y por la moscovita de los esquistos en 72 ± 28 mill/años, según Somin y Millán (1981).

Estos complejos metamórficos fueron considerados por Brezsnyszky K. y otros, 1976 como parte del complejo basal de las grandes Antillas, sin embargo, en opinión del autor, el extraordinario parecido de las secuencias metamorfozadas tanto de las series terrígeno-carbonatadas, como las metavulcanitas, las anfibolitas y las propias ultrabasitas con las secuencias del arco de islas volcánico de Cuba central permiten considerar un posible origen alóctono de estos complejos, asociarlos directamente con las secuencias similares de Cuba sur central y proponer que son fragmentos de los complejos Escambray-Pinos arrastrados por la estructura de retroarco y participantes en el frente de colisión del retroarco Cretácico-Paleógeno contra el arco Jurásico-Cretácico en el Campaniano. Esto explicaría satisfactoriamente la existencia del complejo de la Corea como una ventana tectónica producto de la obducción de las rocas de la litosfera oceánica sobre el arco jurásico-cretácico resultado del empuje del retroarco Cretácico-Paleógeno sobre aquel; igualmente el cabalgamiento del complejo ofiolítico sobre el complejo terrígeno-carbonatado (formaciones Sierra Verde y Chafarina), anfibolítico (Güira de Jauco), y las metavulcanitas del Purial. La evidente morfología casi circular del frente de colisión en Asunción apoya este punto de vista

Conclusiones.

Los complejos ofiolíticos de Cuba participaron desde el inicio en todos los procesos termodinámicos y tectónicos que dieron lugar al nacimiento y desarrollo de los sistemas de arcos de islas volcánicos, Jurásico-Cretácico y Cretácico-Paleógeno.

Estos complejos ofiolíticos se originaron tanto en condiciones de distensión como de compresión cizallamiento y de compresión obducción, de la corteza oceánica y el manto superior; estas diferentes condiciones de origen y desarrollo determinaron a su vez características propias en la composición de los diferentes complejos ofiolíticos, de esta manera:

- 1.-El complejo ofiolítico asociado al nacimiento del arco de islas volcánico Jurásico-Cretácico está conformado principalmente por las asociaciones de metaultramafitas y metabásitas representadas por gabro-anfibolitas y troctolitas anfibolitizadas, harzburgitas anfibolitizadas, wherlitas, lherzolitas, así como clinopiroxenitas y hornblenditas.

2.-El complejo ofiolítico asociado a la cuenca de antearco, si bien aparecen en el mismo prácticamente todas las rocas que conforman la litosfera oceánica, es notable el grado frecuente de serpentización que se observa. Allí predominaron los procesos tectónicos y de protrusión de las ofiolitas (Knipper y Cabrera, 1974) debido a la compresión y cizallamiento producto de la colisión de la placa de Norteamérica contra el arco de islas volcánico de Cuba.

3.-El complejo ofiolítico surgido de la colisión y obducción por sobreempuje del arco Cretácico-Paleógeno contra el arco Jurásico-Cretácico está constituido en general por rocas muchos menos serpentizadas de aquellas de la cuenca de ante arco; aquí predominan las harzburgitas junto con dunitas, lherzolitas, wherlitas y piroxenitas subordinadas así como grandes macizos de gabros. Todo este complejo ultramáfico-máfico sufrió un intenso intemperismo debido entre otros factores a su constitución mineralógica compuesta por minerales cristalizados a altas temperaturas que los volvieron muy inestables en las condiciones de la hipergénesis. Un proceso de colisión por sobrepuje muy dilatado desde el Campaniano al Eoceno medio determinó la formación en los límites meridionales de los macizos ultrabásicos de potentes depósitos de endo y exolitostromas.

4.-Las ofiolitas de los complejos metamórficos alóctonos de oriente de Cuba son tan parecidas en su composición y grado de metamorfismo a las de los terrenos Escambray y Pinos que pueden ser consideradas partes de aquellos complejos empujadas por el retroarco y colisionadas contra el arco Jurásico-Cretácico.

La participación en el tiempo de las ofiolitas comenzó sincrónicamente con el origen de los arcos de islas volcánicas en el Jurásico superior y acompañó su desarrollo hasta su extinción en el Eoceno medio. Tan amplia participación de esos complejos solo puede ser comprendida si se concibe una corteza oceánica mucho más delgada que el promedio de espesor de la corteza oceánica actual, procesos como los propuestos por (Knipper y Cabrera, 1974) de intrusiones frías, (protrusiones) solo pueden considerarse ocurridos en cortezas oceánicas bajo cuencas pelágicas, extremadamente delgadas; igualmente el surgimiento por obducción de las ofiolitas por el sobreempuje del retroarco Cretácico-Paleógeno contra el arco Jurásico-Cretácico, también muy probablemente ocurrió, en condiciones de una cuenca riftogenética frontal con una corteza oceánica muy delgada

Bibliografía.

Álvarez Sánchez H., 2023. Litoestratigrafía del macizo metamórfico Escambray. Revista Maya edición especial XI, pp,1-117.
Boiteau A., Michard, P. Saliot. 1972. Metamorphisme de haute pression-dans le complexe ophiolitique du Purial (Oriente, Cuba. Cr. Acad. Sci. D. Tomo 274. p. 2137-2140.
Bovenko, V.G., B. YE. Shervakova and G. Hernandez. 1978. Relationship of the geological structure and the Earth's crust structure within western Cuba. Sov. Geologiya, No.6, 117-128 (In Russian).
Bovenko, V.G., B. YE. Shervakova and G. Hernandez. 1980. Nuevos Datos Geofísicos sobre la Estructura Profunda del Este de Cuba. Sov. Geologiya No. 9, 101-109.

Boyanov, I.G., Goranov and R. Cabrera. 1975. Algunos nuevos Datos sobre Geología de los Complejos de Anfibolitas y Granitoides en la parte Sur de Las Villas. La Habana. Serie Geol. 15 p.
Brezsnyanszky, K., Coutin, D.P., Yakus, P. Nuevos aspectos acerca del complejo basal en Cuba oriental, 1981. Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio No.3,8 pp.
Bush, V. A., and I.N. Schevakova, 1986. New data on the deep-seated tectonic structure of Cuba. Geotektonika No. 3. 25-41 (in Russian).
Cabrera, R., D. Chunev, C. Yanev, T.Z. Tzankov. 1981. Geología y Vulcanismo de la Zona Zaza en la provincia de Camaguey-Las Tunas. 1er Simposio Soc. Cubana de Geología. p. 11-12.
Cobiella, J. L. 1978. Un Melange en Cuba Oriental. Minería en Cuba. Vol. 4. No. 4. p. 46-51.
Nagy E., A. Brito, F. Formell, et al., Contribución a la Geología de la Región Oriental de Cuba (I) 1983. La Habana Ed. Científico-Técnico: 273 p.
Díaz De Villalvilla, L. 1988. Caracterización Geológica y Petrológica de las Asociaciones Vulcanógenas del Arco Insular Cretácico en Cuba Central. Manuscrito IGPAAC. Tesis de Candidatura en Ciencias. p. 1-161.
Dobretsov, N.L., L.V. Dobretsova, G. Millan and M.L. Somin. 1987. Eclogites of Cuba. New data. Dokl. A.N. SSSR. Vol. 292; 179-184 (in Russian).
Dobretsov, N.L. Y L.V. Dobretsova. 1989. Eclogites and glaucophane schists of the Urals, spitsbergen, and Cuba Island. In: Eclogites and glaucophane schists in fold regions, Novosibirsk: Nauka: 107-132 (in Russian).
Ducloux C., M. Vuagnat 1962. A propos de l'age des serpentinites de Cuba/Arch. sci. Vol. 15. fasc. 2 p. 309-332.
Formell Cortina F.A. Metalogenia del intemperismo en Cuba. 2021, libro, Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, Cuba, 192 p.
Formell Cortina F.A. "Burbujas mánticas" en el origen y evolución del planeta Tierra, 2023, Revista Geociencias UO, Universidad Olmeca, Año 6, Vol. 6, Num. 1, Ejemplar 11, Artículo 1 p.7-18, 11pp.
Formell Cortina F.A., Sobre el origen y evolución de los arcos de islas volcánicas; en el ejemplo del arco de Cuba central, 2024, Revista Maya, Edición especial XVI, p.43-51, 8pp.
Fonseca, E., V.M. Zelepuguin, M. Heredia 1984. Particularidades de la estructura de la Asociación Ofiolítica de Cuba. Ciencia de la Tierra y del Espacio No. 4.
Fonseca, E., V.M. Zelepuguin, M. Heredia 1985. Structural features of the ophiolitic suit of Cuba. Geotektonika. No. 4. 88-89 (in Russian).
Iturralde-Vinent, M.A., 1975. Problemas de la Aplicación de las hipótesis tectónicas modernas a Cuba y la región del Caribe. Rev. Tecnol. Vol. 12. No. 1. p. 46-63.
Iturralde-Vinent, M.A., 1976. Estratigrafía del área Calabazas. Rev. Minería. Cuba. Vol. 2. No. 4. p. 32-40.
Iturralde-Vinent, M.A., 1981. Nuevo modelo Interpretativo de la Evolución de Cuba. Ciencias de la tierra y del Espacio. No. 3. p. 51-89.
Iturralde-Vinent, M.A., 1990. Las Ofiolitas en la Constitución Geológica de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio. No. 17. p. 8-26.
Kantchev, I., I. Boyanov, N. Popov, et al. , 1978. Geología de la provincia de Las Villas (M.S.). Archivos del IGP. Academia de Ciencias de Cuba: 1480 p.
Knipper, A.L. y Cabrera R., 1974. Tectónica y Geología Histórica de la zona de Articulación entre el Mio y el Engeosinclinal y el Cinturón Hiperbásico de Cuba. Centro Geol. Cuba. Publi. Espec. No. 2: 15-77.
Knipper, A.L., 1975, Oceanic crust in the structure of the alpine fold region, Moscú Edit. NAUKA: 207 P. (en ruso)
Kozary, M.T., 1968. Ultramafic rocks in thrust zones of northwestern Oriente province, Cuba. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Vol. 52: 2298-2317.

Millan, G., 1978. Tectonics and metamorphism of the Mesozoic strata in the Escambray Mountains (Author's abstract of Candidate thesis). Moscow Inst. of the Physics of the Earth USSR Academy of Sciences: 27 p. (in Russian).
Millan, G., Mycznski, R., 1978. Fauna Jurásica y Consideraciones sobre la edad de las Secuencias Metamórficas del Escambray. Acad. Ciencias de Cuba. Informe Científico Técnico No. 80. p. 1-16.
Millan, G. y Somin, M. L., 1985 a, Contribución al conocimiento geológico de las metamorfitas del Escambray y del Purial. Reporte de Investigación N° 2. IGP. Academia de Ciencias de Cuba. 74 Pág.
Mossakovsky, A.A., J.F. de Albear. 1978. Estructuras Cubiertas en el Oeste y Norte de Cuba e Historia de su Establecimiento y significado de los olistostomas y Molinas. No. 3. p. 100-118.
Mossakovsky, A.A., G. YE. Nekrasov, S.D. Sokolov 1986. Metamorphic complexes and the problem of the basement and alpine structures in the central segment of Cuba. Geotektonika No. 3; 5-24 (in Russian).
Mossakovsky, A.A., G. YE. Nekrasov and S.D. Sokolov. 1987. Tectonics of Cuba. In: Tropical problems of the tectonics of oceans and continents. Moscow: Nauka: 113-153. (in Russian).
Mossakovsky, A.A., G. YE. Nekrasov and S.D. Sokolov, eds. 1988. Mapa Geológico de Cuba. Escala 1:250 000. Moscú. IGP. Academia de Ciencias de Cuba.



Francisco de Asís Formell Cortina, nació el 12 de Septiembre de 1939 en la ciudad de La Habana. En 1957 comenzó su trabajo en el Instituto Cubano de Cartografía y Catastro en el campo de la interpretación aerofotogeológica. Graduado con honores en la Licenciatura en Geología en 1967. El Instituto de Geología de la Academia de ciencias de Cuba lo habilitó para defender su Candidatura en Ciencias geólogo-mineralógicas en el Instituto de Geología de los Yacimientos Minerales (IGEM) de la Academia de Ciencias de la URSS y recibió su Doctorado en Ciencias Geológicas en 1993. Investigador titular del Instituto de Geología desde 1981, continuó desempeñándose en el Centro de Investigaciones Geológicas del MINBAS en 1986, hasta su jubilación en diciembre de 1999. Fue uno de los fundadores de la Teledetección de la Tierra, como disciplina científica en Cuba. Miembro de la delegación cubana a la Conferencia de las Academias de Ciencias del C.A.M.E para la confección del mapa geológico de Cuba a escala 1:250,000 en 1968 y Jefe de la Sección de Geología del Atlas Nacional de Cuba en 1989. Secretario ejecutivo de la Comisión de Unificación del mapa geológico de Cuba y es uno de sus autores y de su texto explicativo. Realizó una extensa actividad académica como secretario científico de tribunales de doctorados y categorías científicas y como tutor y oponente de numerosos aspirantes. Participó en los preparativos geológicos del vuelo espacial conjunto soviético-cubano del cosmonauta cubano Arnaldo Tamayo en la nave Soyuz 38, por cuya destacada participación recibió la Medalla Conmemorativa. Participante del Experimento Trópico III y Biosfera 1979 por la Academia de Ciencias de Cuba. Miembro fundador y permanente del Consejo Científico del IGP. Subdirector del Instituto de Geología y Paleontología de 1965-1970, 1981-1986 y de 1990 a 1994. Medalla "René Ramos Latour" por 25 años ininterrumpidos de actividad en la geología. Es autor o coautor de más de 80 artículos científicos, libros y mapas y participante de más de 60 eventos científicos nacionales e internacionales. Miembro del Comité Gestor de la Sociedad Geológica de Cuba y Miembro Fundador. Secretario ejecutivo de su primer comité de dirección y actual Miembro Emérito de la Sociedad Cubana de Geología. Dentro de sus variados desempeños, se destaca su trabajo en investigaciones sobre los yacimientos minerales epitermales y de sulfuros masivos, las cortezas de intemperismo y los yacimientos minerales asociados. En el año 2021 el Instituto de Geología y Paleontología de Cuba publicó la obra monográfica del Doctor Francisco de Asís Formell Cortina titulada: Metalogenia del Intemperismo en Cuba.

Mossakovsky, A.A., G. YE. Nekrasov, S.D. Sokolov, J.R. Oro, M.V. Shavyrina and R.M. Flores. 1989. Dos tipos de Complejos Ultrabásicos en la estructura de Cuba Oriental. Geología/Geology'89. Primer Congreso Cubano de Geología. Resúmenes. La Habana, 91-92.
Nekrasov, G. YE., J. Oro, S.D. Sokolov, R. Flores, M.V. Shavyrina. 1989. Ophiolites of Eastern Cuba. Geotektonika No. 1 p. 80-95 (in Russian).
Pusharovskiy Y.M., Mossakovskiy A.A., Nekrasov V G.E., Sokolov S.D., Formell Cortina F.A., Peñalver L.L., 1989, Geología de Cuba, Texto explicativo al mapa geológico de Cuba a escala 1:250,000. Academia de Ciencias de la URSS, Academia de Ciencias de Cuba, Moscú. En inglés 55 pp, en ruso 46 pp.
Pusharovskiy, Yu. M. ed 1989. Tectonic Map of Cuba 1:500 000. Geological Institute, USSR Academy of Sciences. Institute of Geology and Paleontology. Cuba Academy of Sciences-Vinnitsa: GUGK SSSR (in Russian).
Pusharovskiy, Yu. M., A.A. Mossakovskiy, Nekrasov G. et al. 1989. Tectonics of the Republic of Cuba (Explanatory note to the 1:500 000 Tectonic Map of Cuba. Moscow: Nauka. 79 p. (in Russian).
Pusharovskiy, Yu. M., A.A. Mossakovskiy, G. Ye. Nekrasov, S.D. Sokolov, R. Flores, F. Formell Cortina, R. Cabrera. 1989. Problemas de la Geodinámica de Cuba. Geología/Geology/89. Primer Congreso Cubano de Geología. Resúmenes. La Habana. 108-109.

Foro de discusión

Discussion Forum

A sugerencia de uno de nuestros lectores, a partir de la revista de agosto de 2022, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para mantener el interés en una gran variedad de temas geológicos, y creará un ambiente de colaboración cordial entre nuestras comunidades de Geociencias.

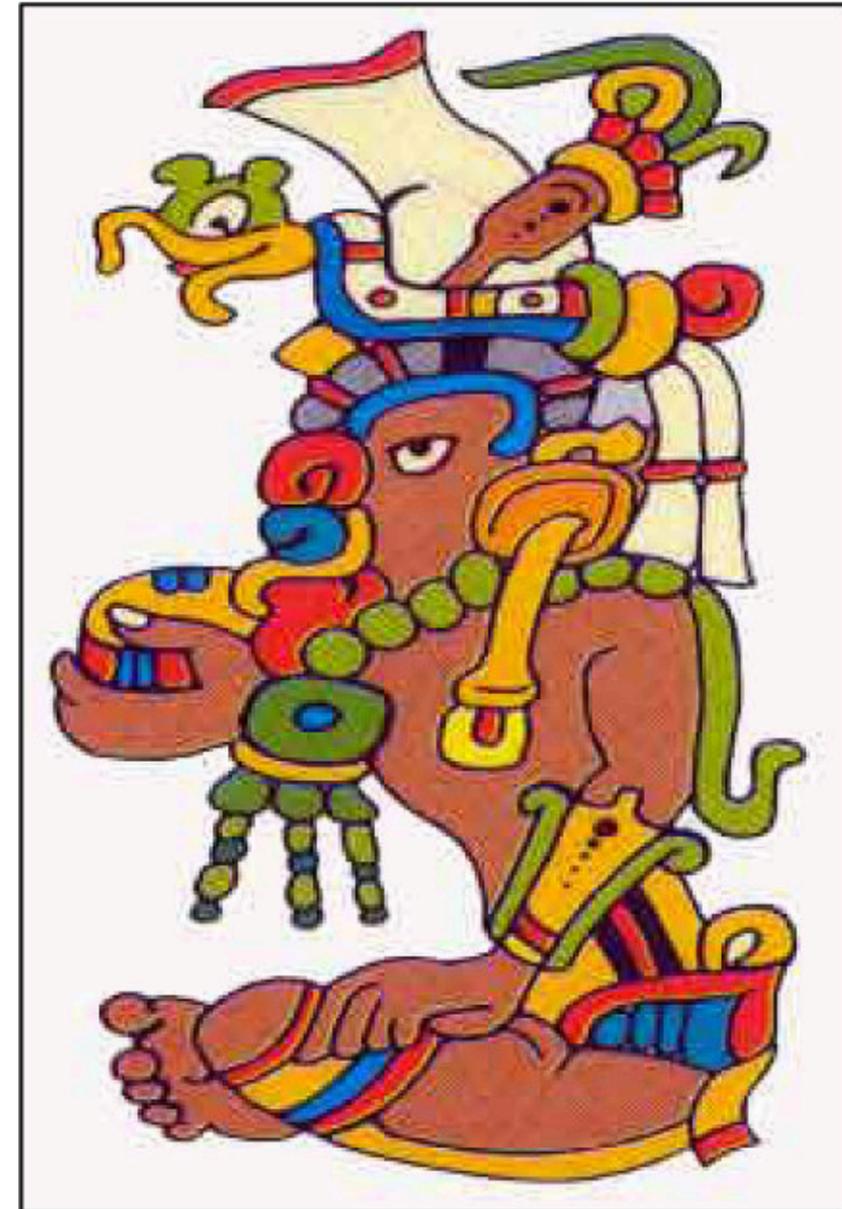
Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

At the suggestion of one of our readers, beginning with this August issue we will be including opinions and discussions from our readers relating to the published geological notes. This will permit active participation by interested parties. This discussion forum will certainly have great value for maintaining interest in a wide variety of geological themes, and will create a cordial, collaborative atmosphere among our geoscience community.

Please send your observations, comments and suggestions to any of the Editors of the Revista Maya de Geosciencias.

MISCELÁNEOS

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



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

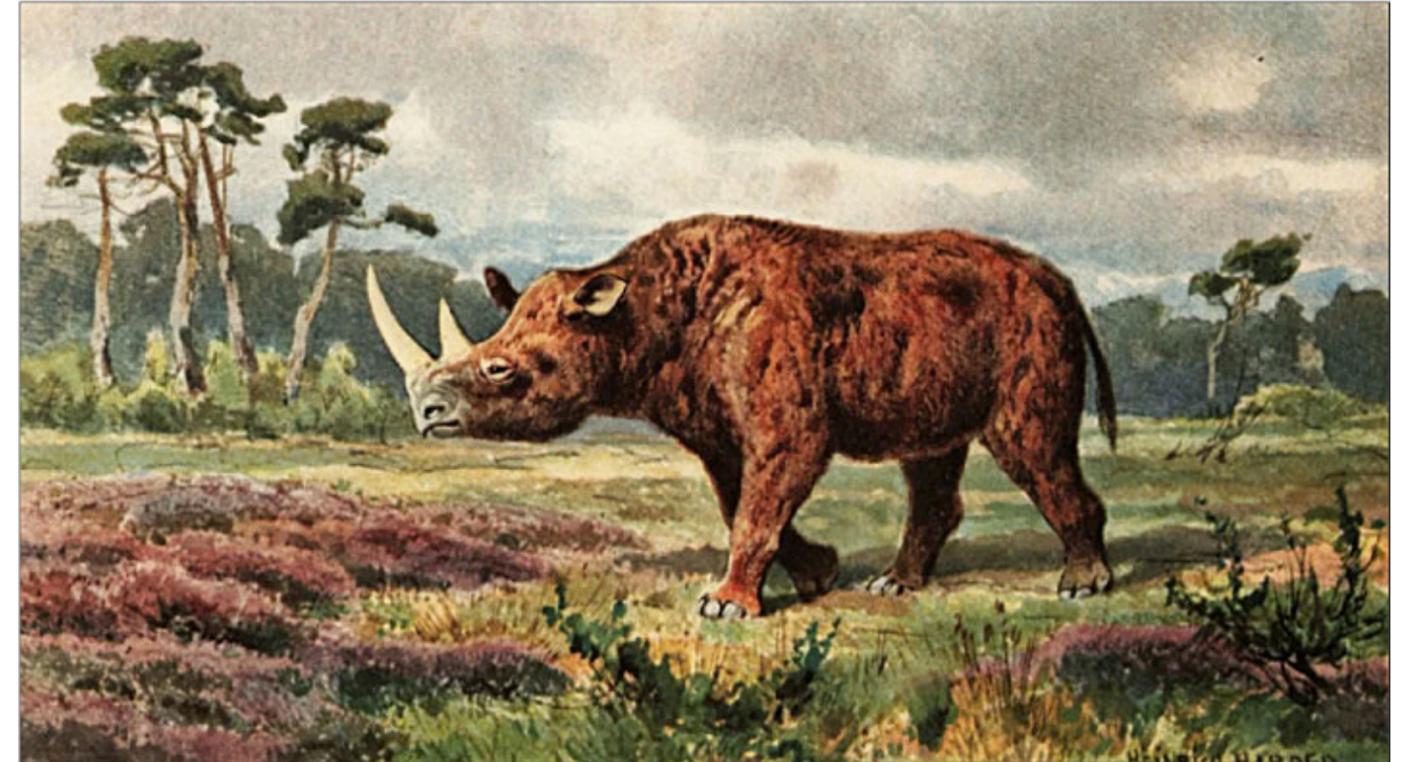
Museo DITSONG de Ciencias Naturales: Sudáfrica

Haz click en la imagen



Encuentran rinoceronte lanudo preservado en permafrost ruso por 32.000 años

<https://cnnespanol.cnn.com/2024/09/25/hallan-rinoceronte-lanudo-permafrost-ruso-trax>



Los científicos descubrieron un rinoceronte lanudo tan bien conservado en el permafrost ruso durante más de 32.000 años que su piel y pelaje aún están intactos.

Este rinoceronte lanudo murió cuando tenía unos cuatro años y esa edad, combinada con su buen estado de conservación, permitió a los científicos aprender más sobre la especie ahora extinta.

“La gran, gran mayoría de los restos de animales de la Edad de Hielo son huesos y dientes sin carne ni piel ni nada parecido”, dijo a CNN Love Dalén, profesor de genómica evolutiva en la Universidad de Estocolmo que no participó en este estudio pero que ha estudiado los restos de otros animales encontrados preservados en el permafrost siberiano.

GeoLatinas involucra a las/los científicas/cos de la Tierra y el Espacio, facilitando colaboraciones y relaciones entre estudiantes, profesionales y académicos, incluso fuera de las Geociencias, es una organización inclusiva, colaborativa y dirigida por sus miembros, trabajamos mediante subcomités dirigidos por pequeños equipos permitiendo alcanzar nuestros objetivos, e impactar más allá de la comunidad científica llegando al público en general.

Queremos presentarles nuestra iniciativa de GeoSeminarios en su edición en español y para trabajos de tesis, formando parte del área de Educación y Divulgación, con esta iniciativa abrimos un medio más para la divulgación y promoción de los trabajos de investigación, así como también para que se presenten los proyectos de tesis de grado de todos los niveles académicos, ofreciendo un espacio para que nuevos investigadores desarrollen sus habilidades de comunicación científica a todo tipo de público, permitiendo que tengan un alcance nacional e internacional, destacando la participación principalmente de las mujeres. Desde el 08 de octubre del 2021 que realizamos el primer GeoSeminario a la fecha hemos llevado a cabo 26 presentaciones de temas variados con impacto científico, social, y en la salud. Te invitamos a presentar en nuestro espacio tu trabajo en Geociencias ya sea de tema especializado tanto de interés para la academia como para la industria o tu proyecto de grado de cualquier nivel académico. **Sigue nuestros GeoSeminarios, ya sea en vivo o visitando nuestras redes sociales y viendo las grabaciones:** <https://geolatinas.org/> <https://www.facebook.com/GeoLatinasFace/>

Comité de Educación y Divulgación de GeoLatinas. División GeoSeminarios

COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN

GeoSeminarios

¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

En GeoLatinas estamos por comenzar la temporada 2023 de **GeoSeminarios**

Una iniciativa creada para la divulgación técnica y científica de las Ciencias de la Tierra y Planetarias*.

¡Y nos encantaría dar a conocer tu trabajo de

- Investigación
- Tesis
- Campo laboral
- etc...!

Si te interesa participar te invitamos a llenar nuestro [formulario](#).

o envíanos un mensaje en nuestras redes sociales.

(*Esta iniciativa está abierta a todo género, raza, edad, etc.)

GeoLatinas es una organización inclusiva, dirigida por sus miembros. Nuestra misión es acoger, empoderar e inspirar latinx para que persigan y prosperen en sus carreras de Ciencias de la Tierra y Ciencias Planetarias.

geolatinasista
GeoLatinas_por_mexico
GeoLatinas

GeoSeminarios disponibles en:

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences

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.

Cuenca: Una depresión de la corteza terrestre, formada por la actividad tectónica de las placas, en la que se acumulan sedimentos.

Espacio de acomodación: Se refiere al volumen de la cuenca que potencialmente puede rellenarse de sedimento.

Trinchera: Depresión larga y estrecha del piso oceánico, comúnmente asociada a la subducción de una placa oceánica, lo que crea un levantamiento hacia el continente, este abombamiento es conocido como prisma acrecional.

Prima de acreción: es una gran acumulación de sedimentos deformados que se acumulan en forma de cuña en una zona de subducción en un borde convergente de placas tectónicas.

Cuencas de antearco: Las cuencas de antearco se forman entre el prisma de acreción y el arco volcánico, su subsidencia se encuentra marcada por la carga de sedimentos.

Cuencas de trasarco: Este tipo de cuencas tiene como límite el arco magmático y el cratón, se pueden formar tanto en el océano como en continente. Dependen en gran medida del tipo de subducción y es por esto que son de vida corta y reducida extensión.

Cuenca de antepais: es una depresión de la corteza continental localizada en el frente de una cadena montañosa en formación, la cual es causada por la colisión de placas tectónicas.

Cuencas transtensionales: Son cuencas creadas por el desplazamiento de sistemas de fallas de rumbo y por efectos transtensionales.

Cuencas transpresionales: Son cuencas creadas por compresión en zonas de fallamiento de rumbo que resultan en un levantamiento rápido de uno o dos márgenes y una subsidencia rápida de una cuenca.

Cuencas Rotacional: Estas cuencas se forman por rotación de bloques de corteza continental en zonas de fallamiento de rumbo.

Einsele, G. (jul 27, 2000). Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget. Germany: Springer Science & Business Media.



<https://vapa-us.org>



The Venezuelan American Petroleum Association

VAPA is a nonprofit professional organization in the Hydrocarbon industry and other related energies. It was founded in the state of Texas, USA in July 2019 and aims to establish relationships with organizations and institutions that can provide technical support, education and training to help the sustainable development of the Venezuelan energy industry.

VAPA is committed to promote technical events in upstream, midstream and downstream of both Oil and Gas and alternative energies that are of benefit to its members

Our Goal

The main Goal of VAPA is to bring together all the professional talent available in the Venezuelan Energy industry.

Our Purpose

Promote the professional growth of its members in technologies applied to the value chain of the energy sector while maintaining a high standard of conduct

Provide technical support, education, and training for the sustainable development of the Venezuelan Energy Industry.

Caverna del arte

**El arte de hacer Café en Coatepec Veracruz, México:
Un Viaje de Sabores y Tradición.**



A sólo ocho kilómetros de Xalapa y 30 minutos de Jalcomulco, **Coatepec** es un poblado colonial que no niega su pasado indígena, pero sobre todo exhibe su rico mestizaje en comida y vida cotidiana. En el pintoresco pueblo de Coatepec, Veracruz, conocido como la "Capital del Café Mexicano", se encuentra uno de los destinos más emblemáticos para los amantes del café: el Museo del Café y sus fascinantes tours de café. Coatepec, con su clima templado y sus fértiles suelos volcánicos, ofrece el entorno perfecto para el cultivo de café de alta calidad, y una visita a este lugar promete una inmersión completa en la rica cultura cafetalera de México.



Kiosko de Coatepec Veracruz.

Coatepec, un encantador pueblo ubicado en las montañas de Veracruz, México, es reconocido mundialmente por su café de la más alta calidad. El café de altura de esta región ha conquistado paladares alrededor del mundo gracias a su sabor único y sus meticulosos procesos de cultivo y producción. Pero, ¿cómo llegó el café a esta región y qué lo hace tan especial?

La historia del café en Coatepec se remonta al siglo XIX, cuando las primeras plantas de café fueron introducidas en México desde el Caribe. Fue en 1808 cuando las primeras semillas de café llegaron a Veracruz, y poco tiempo después, los colonos comenzaron a cultivarlas en las fértiles tierras de Coatepec. Estas tierras, ubicadas a una altitud de entre 1000 y 1250 metros sobre el nivel del mar, ofrecen las condiciones ideales para el cultivo del café de altura, gracias a su clima templado y suelo volcánico rico en nutrientes.

A lo largo del siglo XIX, el cultivo del café se expandió rápidamente en Coatepec. Los caficultores locales, con un profundo conocimiento de la tierra y las técnicas agrícolas, perfeccionaron el cultivo y procesamiento del café, logrando una calidad excepcional. Este café no tardó en ganar reconocimiento no solo a nivel local, sino también en mercados internacionales, consolidándose como uno de los cafés más finos del mundo.

El café de Coatepec se distingue por varias características que lo hacen único y altamente apreciado. En primer lugar, su altitud de cultivo permite que las plantas de café maduren lentamente, desarrollando una complejidad de sabores y aromas inigualables. Este café se caracteriza por su cuerpo medio a alto, acidez brillante y notas dulces y afrutadas que varían según el microclima y el método de procesamiento utilizado. Además, el café de Coatepec es cultivado con métodos tradicionales que respetan el medio ambiente. Muchos productores optan por prácticas de cultivo orgánico y de sombra, preservando la biodiversidad y asegurando la sostenibilidad del ecosistema local. Estos esfuerzos no solo contribuyen a la calidad del café, sino que también protegen la riqueza natural de la región. Gracias a su calidad excepcional, el café de Coatepec ha ganado numerosos premios y reconocimientos en competencias internacionales. Desde principios del siglo XX, este café ha sido exportado a Europa, Estados Unidos y otros países, donde es valorado por su sabor distintivo y alta calidad. La denominación de origen «Café de Veracruz» ha ayudado a consolidar su reputación y garantizar que solo el café producido en esta región cumpla con los estrictos estándares de calidad que lo caracterizan.

La historia del café en Coatepec es un testimonio del arduo trabajo y la dedicación de los caficultores locales, quienes han sabido aprovechar las condiciones únicas de su entorno para producir un café de la más alta calidad. Este café de altura no solo es un orgullo para Veracruz, sino que también ha puesto a Coatepec en el mapa mundial como una de las regiones productoras de café más importantes y reconocidas. El Museo del Café de Coatepec es una parada obligada para quienes desean conocer la historia, el proceso y la cultura que rodea a esta famosa bebida. Ubicado en una antigua casona del siglo XIX, el museo ofrece una experiencia educativa y sensorial que abarca desde los orígenes del café hasta su importancia en la vida cotidiana de los veracruzanos.

El museo alberga una variedad de exhibiciones permanentes y temporales que muestran la evolución del café a través de los siglos. Entre los aspectos más destacados se encuentran: En este mágico lugar existe una sección dedicada a la historia del café, desde su descubrimiento en Etiopía hasta su llegada a México y su impacto en la economía y cultura locales. Los visitantes pueden explorar documentos históricos, fotografías antiguas y relatos de cómo el café se convirtió en un cultivo fundamental para la región.



Una exquisita taza de Café de Coatepec.

En sus recorridos se conoce su extensa plantación, después se comparten los beneficios en húmedo y seco de la cosecha y se conoce el área de tostadores y molido. Siguiendo a esta etapa se hace una degustación de cafés, acompañados con un pan tradicional de Coatepec y al terminar se pasa a las salas de antigüedades relacionadas con el café, donde hay instrumentos que datan de los siglos XIX y XX.



Recorridos dentro del museo del café.

Sin duda, el visitante termina impregnado de aroma y recuerdos. Este museo se ha convertido en una de las mayores atracciones turísticas de Coatepec gracias a los visitantes que llegan ávidos de conocer más acerca del arte del café. Exhibiciones interactivas que explican cada etapa del proceso de producción del café, desde la siembra y cosecha de los granos hasta el tostado y la molienda. Los visitantes pueden ver maquetas de las plantaciones y aprender sobre las técnicas modernas y tradicionales utilizadas en el cultivo del café.

Una colección de herramientas y máquinas utilizadas a lo largo de los años en la producción de café, incluyendo antiguas tostadoras, molinos y cafeteras. Estas piezas históricas ofrecen una visión fascinante de la evolución tecnológica en la industria cafetalera. Muestras de cómo el café ha influido en la vida cotidiana, la literatura, el arte y las tradiciones mexicanas. Esta sección destaca la importancia del café en las celebraciones y rituales locales, así como su papel en la economía y la sociedad de Coatepec.

Demostraciones en vivo del proceso de tostado, donde se explica cómo este afecta el sabor y aroma del café. Los visitantes pueden ver cómo los granos de café cambian de color y emiten aromas durante el proceso de tostado, y aprender sobre los diferentes niveles de tostado que producen distintos perfiles de sabor. Talleres donde los visitantes pueden aprender técnicas básicas de barismo y preparación de café. Estos talleres incluyen la práctica de hacer espresso, cappuccino y otras bebidas a base de café, así como la creación de arte latte.

Talleres de barismo, donde se explica la exquisita forma de preparar bebida de café.

<https://www.coatepecmagico.com>

<https://elsouvenir.com>

<https://entornoagropecuario.com/academicas-del-colver-realizan-semana-de-ciencia-arte-y-cultura-en-torno-al-cafe/>

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

Abuelita biónica

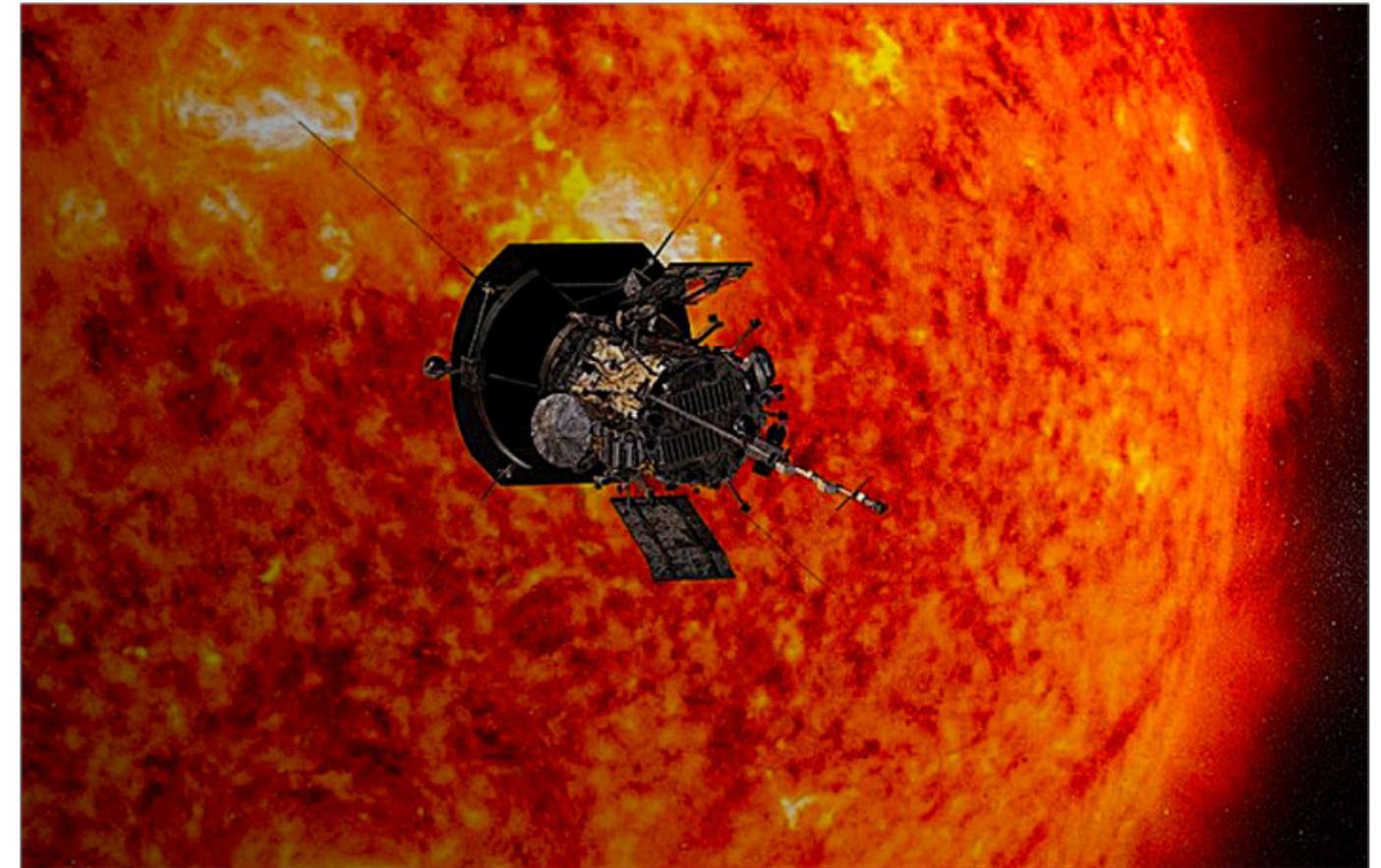
Imagen digital por Claudio Bartolini





M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en 2010. A partir de 2012 ejerce como docente en el Dpto. de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas de la referida casa de altos estudios. Imparte asignaturas en pregrado como Geología General, Fotografía y Dibujo Geológico Básico, Rocas y Minerales Industriales, entre otras disciplinas. Desde 2011 se desempeña como responsable de Eventos y Asuntos Editoriales de la Sociedad Cubana de Geología, en la filial de la provincia de Pinar del Río. A inicios de 2021 crea el proyecto "Geocaricaturas", grupo público de Facebook para la promoción del conocimiento de las ciencias de la Tierra, con una perspectiva educativa a través del humor inteligente. Buena parte de las caricaturas de temática geológica que conforman esta iniciativa gráfica se han publicado en secciones de geohumor de revistas como Ciencias de la Tierra (Chile), y Tierra y Tecnología (España). Desde finales del propio 2021 es miembro del LAIGEO o Capítulo Latinoamericano de Educación de las Geociencias (IGEO, por sus siglas en inglés), donde se presenta como responsable del Proyecto "GeoArte en América Latina y el Caribe". Posee varios geopoemas y geocuentos dedicados a la geología, algunos publicados y otros aún inéditos, donde fusiona literatura, ciencia e imaginación. Si deseas comunicarte con el Artista. If you wish to contact the Artist: wilmerperezgil5@gmail.com

<https://science.nasa.gov/mission/parker-solar-probe/>



Parker Solar Probe

On a mission to “touch the Sun,” NASA's Parker Solar Probe became the first spacecraft to fly through the corona – the Sun’s upper atmosphere – in 2021. With every orbit bringing it closer, the probe faces brutal heat and radiation to provide humanity with unprecedented observations, visiting the only star we can study up close.

La casa de las cavernas

<https://www.thetravel.com/caves-largest-ranked-size/>

<https://www.nps.gov/maca/learn/nature/stalactites-stalagmites-and-cave-formations.htm>

<https://cavern.com/learn/formations.asp>

<http://www.goodearthgraphics.com/virtcave/largest.htm>

<https://petapixel.com/2021/11/05/photographing-the-expansive-underwater-caves-of-the-yucatan/>

<https://theculturetrip.com/north-america/mexico/articles/mexico-s-cenotes-hidden-gems-of-the-yucatan/>



An Explanation, at Last, for Mysterious “Zen Stones”

Every once in a while, nature produces something with captivating fragility. Such is the case with Zen stones, which seemingly hover above frozen lakes, their masses supported by thin, sometimes nearly invisible, pedestals of ice. Researchers have now determined the physics underpinning the formation of Zen stones using laboratory experiments and numerical simulations. Sublimation of ice plays a key role, the team discovered, which puts Zen stones in rare company with other sublimation-sculpted natural features such as penitentes.

<https://eos.org/articles/an-explanation-at-last-for-mysterious-zen-stones>

Photos: The Incredible Ice Formations of Lake Baikal

<https://www.theatlantic.com/photo/2019/05/lake-baikal-ice-formations-photos/590374/>

Scientists may be solved the case of mysterious zen stone || balanced Zen Stone Baikal Lake

<https://www.youtube.com/watch?v=vpSv2Ci8QD4>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas



COMO PARTE DE LAS ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN DE NUESTRA REVISTA DE GEOCIENCIAS, TENEMOS UNA RELACIÓN DE BUENA FE Y AMISTAD CON LAS ESCUELAS, SOCIEDADES Y ASOCIACIONES GEOLÓGICAS EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO.

Instituto Nacional de Geoquímica
(México). <https://www.inageq.com/>



Sociedad Venezolana de Historia
de las Geociencias.
SVHGc@yahoo.com



Universidad Tecnológica de la Habana,
- <https://cujae.edu.cu/>

Escuela de Geofísica: <https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/>



Geología Médica

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



Asociación de Geólogos y Geofísicos
Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

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



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>

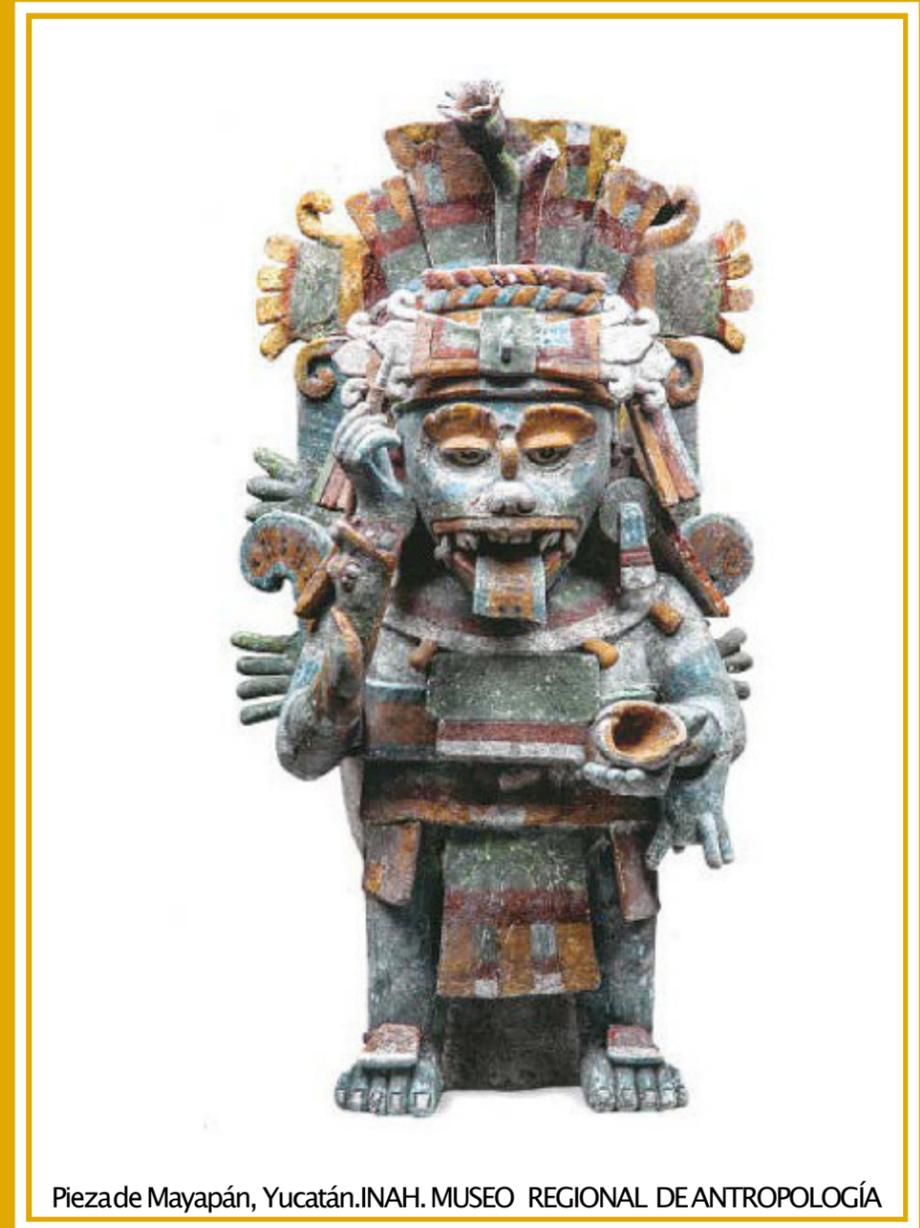


Universidad Tecnológica
del Cibao Oriental,
República Dominicana

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



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



Piezade Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA

¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

luis.valencia.11@outlook.com; bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu