

**SEPTIEMBRE  
2021**



# **MAYYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



**PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS  
FUNDADORES DE LA GEOLOGÍA MODERNA  
PIONEROS DE LA PALEONTOLOGÍA  
NOTAS GEOLÓGICAS**





# MAYYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

**Revista Maya:** Revista Geociencias que 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 es incentivar a profesionales, académicos, e investigadores, a participar activamente en beneficio de nuestra comunidad joven de geociencias.

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

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

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

**Portada de la revista:** Volcán de Osorno en la Patagonia de Chile. Fotografía de Joshua Rosenfeld.

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

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

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

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

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

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

# EDITORES



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

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

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



**Bernardo García-Amador** es candidato a doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su pasión es la tectónica, así como sus causas y consecuencias. Actualmente, se encuentra terminando su tesis de doctorado relacionada a la evolución tectónica de Nicaragua (Centroamérica) e imparte clases en la Facultad

de Ingeniería de la UNAM como profesor de la asignatura de Tectónica. Bernardo publicó recientemente parte de su trabajo de disertación en la revista *Tectonics*, y un segundo manuscrito ha sido aceptado para su publicación en *Tectonophysics*.

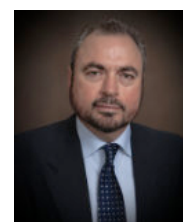
[bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



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

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

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



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

Claudio is an associate editor for the AAPG Bulletin and he has edited several books on the petroleum geology of the Americas. He is a Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

[bartolini.claudio@gmail.com](mailto:bartolini.claudio@gmail.com)

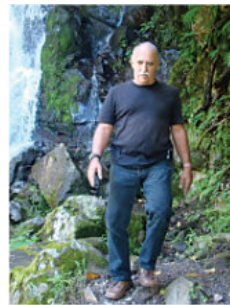
# COLABORADORES



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

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

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



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

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

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



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

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

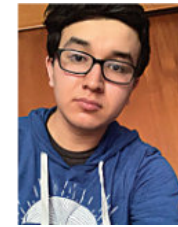
[r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk](mailto:r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk)



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

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

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



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

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

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

El nuevo diseño de la Revista Maya de Geociencias fue realizado por Manuel Arribas, un gran fotógrafo y excelente diseñador gráfico, con residencia en Zaragoza, España. <https://manuelarribas.es/>

## Instrucciones básicas para los autores

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

**Semblanzas: 3 páginas máximo.**

**Notas sobre pioneros de las geociencias: 4 páginas máximo.**

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

**Notas geológicas: 10 páginas máximo.**



## EDITORIAL

La Revista Maya de Geociencias fue creada originalmente con la finalidad de apoyar a estudiantes y jóvenes profesionales de ciencias de la tierra, así también como a las comunidades de geociencias de las Américas.

La idea fundamental concibió una revista que tuviera una amplia gama de temas de ciencias de la tierra, con enfoque general en el hemisferio occidental, y para un público de variada experiencia en la geología y disciplinas afines. La revista es independiente y no está asociada a ninguna sociedad geológica o institución de investigación aunque se ha formado vínculos informales con otras sociedades y asociaciones geocientíficas de todo el mundo.

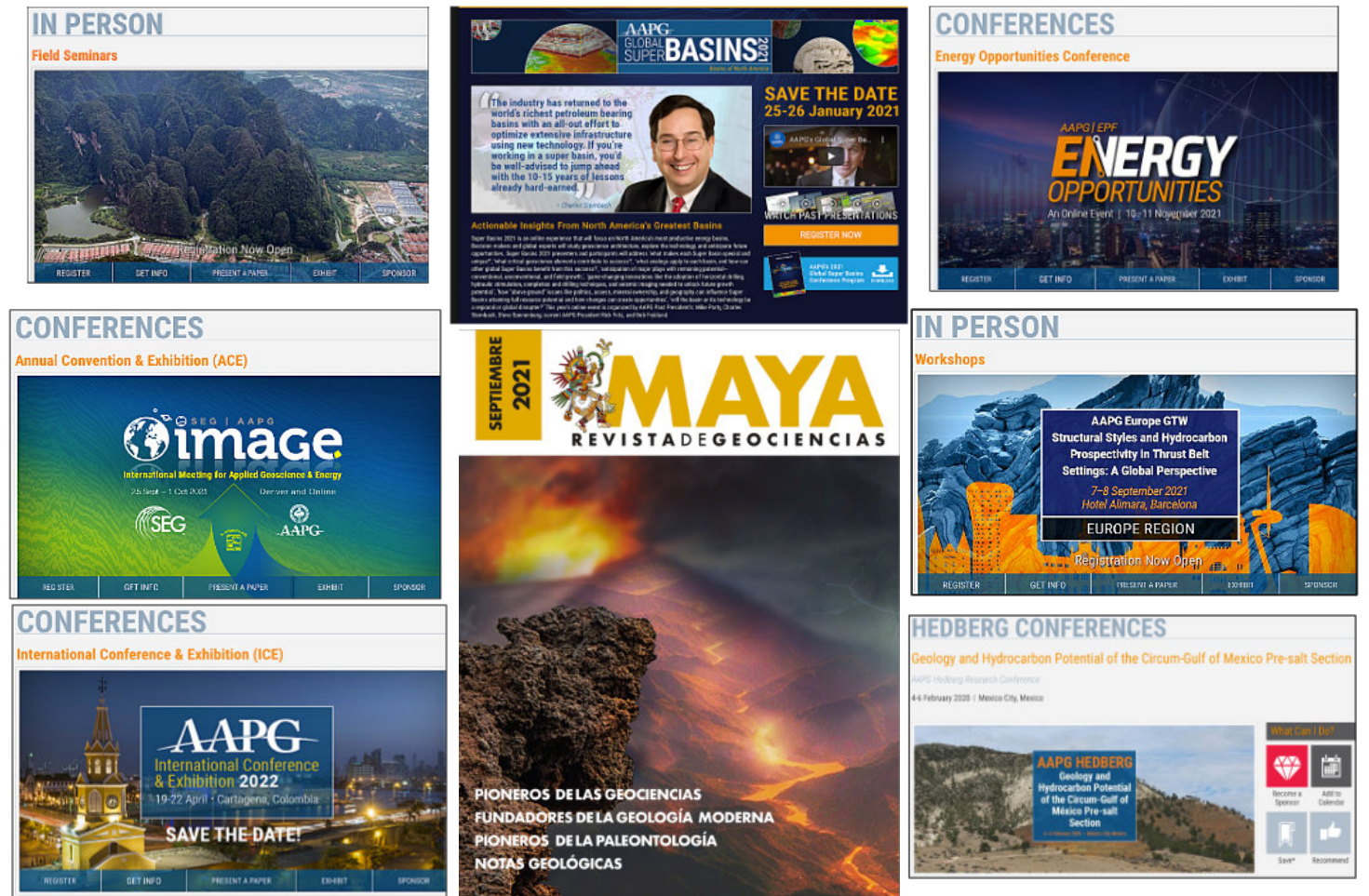
La Revista esta conformada por cuatro editores, y seis colaboradores, todos voluntarios, quienes son responsables de la compilación de la información, la organización y el diseño de la misma. La Revista se publica mensualmente y tiene contribuciones en español e inglés.

La distribución de la Revista Maya de Geociencias se realiza a través de correos electrónicos, LinkedIn y Facebook. Existen planes para la creación de una página web, donde las comunidades de ciencias de la tierra puedan descargar la revista en lo futuro.

La revista incluye, entre otros tópicos, una sección llamada "Notas Geológicas" en donde se publican manuscritos enviados por geocientíficos desde diferentes países del mundo.

Hasta ahora hemos difundido 8 números de la Revista con buena aceptación de los lectores y con un buen flujo de contribuciones para números futuros. Contribuciones y comentarios para los editores siempre son bienvenidos.

## Lazos de colaboración y amistad con la AAPG





# CONTENIDO

SEPTIEMBRE  
2021

Semblanzas.....	<a href="#">9</a>
Pioneros de las Geociencias.....	<a href="#">15</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">24</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">28</a>
Fundadores de la geología moderna.....	<a href="#">31</a>
Pioneros de la paleontología.....	<a href="#">34</a>
¿Qué es la energía solar?.....	<a href="#">40</a>
Centros de Tecnología.....	<a href="#">50</a>
Fotografías de afloramientos.....	<a href="#">54</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">57</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">85</a>
Open source scientific software.....	<a href="#">86</a>
Glosario de términos geológicos.....	<a href="#">87</a>
Clasificación de carbonatos.....	<a href="#">88</a>
Vínculos de sitios de utilidad.....	<a href="#">89</a>
La casa de Homo sapiens.....	<a href="#">90</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">91</a>
Curiosidades de geociencias y cultura.....	<a href="#">92</a>

# SEMBLANZAS

## Marc Tardy: (1943 - 2017)

**Marc Tardy** nació en Savoie, en la ciudad de Chambéry, el 26 de febrero 1943. Desde muy temprano sus maestros de escuela identificaron en él cualidades excepcionales, de manera que lo guiaron hacia el camino de la llamada “excelencia republicana”: accedió al mejor nivel pedagógico público mediante concursos para becas estatales. Así que, llegó a estudiar en la “Ecole Normale d’Instituteurs” de Albertville, y luego en una “Classe Préparatoire aux Grandes Ecoles” científica en el Lyceo Chaptal de Paris. Preparo exitosamente el concurso para integrar la “Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud” (hoy E.N.S. de Lyon), en 1963. En este instituto, encontró al Profesor Jean Aubouin, quien le hizo ver su vocación por la geología. Después del concurso de Agregación en 1967, fue nombrado profesor asociado en la Universidad de Paris (hoy Universidad Pierre et Marie Curie). En el marco de una cooperación científica-universitaria con México, estuvo asignado en la UNAM (Universidad Nacional de México) durante tres años. En 1980, fue nombrado profesor asociado, y más tarde Profesor, en la Universidad de Savoie (hoy Universidad Savoie-Mont-Blanc) en 1983.

Sus investigaciones científicas se dedicaron a dos dominios mayores: los Alpes y el área Caribe-América occidental. En los Alpes, basado en estudios estructurales de superficie, análisis de laboratorio (metamorfismo, magmatismo), y con el apoyo de la sísmica profunda, Marc Tardy fue el actor principal en el programa ECORS dedicado a la estructura cortical profunda de los Alpes Occidentales. Después, promovió el análisis del funcionamiento presente de la cadena alpina, “una cadena viva” como él lo mencionaba, a partir de estudios de terrenos recientes, y el desarrollo de una red de medidas geodésicas (GPS / GSSN) con fines cinemáticas.

Con respecto al dominio Caribe-América occidental, Marc Tardy consagró su Tesis de Estado (defendida en 1980) a la Sierra Madre Oriental de México. Esta obra sigue siendo una referencia para la geología de esta región. Más tarde, estos trabajos integraron la parte “Caribe” del programa



TETHYS, una síntesis de la evolución paleogeográfica y paleotectónica en término de geodinámica de placas. Marc Tardy participó en el proyecto internacional Deep Sea Drilling Project / Ocean Drilling Program, específicamente en la misión de sondeo profundo 78, dedicada al frente del prisma de acreción de Barbados, analizando una estructura activa directamente relacionada a movimiento de subducción de placa.

Marc Tardy fue un excelente docente, conocido por sus cualidades pedagógicas, sus cursos en el campo y su manera de dibujar a medida del camino, las estructuras visibles en superficies, entre otras. Se dedicaba a formar futuros investigadores, así como maestros de colegio y liceo, enseñando a ambos con el mismo rigor analítico. Su calidad humana, al servicio de los estudiantes a cualquier nivel, siempre fue admirada y reconocida por todos sus colegas.

Como asesor en el Ministerio de Educación, Marc Tardy promovió las Ciencias de la Tierra, convencido de la necesidad que todos debemos conocer y entender bien en este momento, el funcionamiento superficial de la Tierra a



un momento crucial: la toma de la importancia de los problemas ambientales. Apoyo la presencia en los cursos de colegio y liceo de las Ciencias del Universo, y fue co-autor de varios libros en su dominio.

Marc Tardy estaba convencido de la necesidad de trabajar sistemáticamente en equipo tanto para la investigación científica como en la pedagogía. A lo largo de su rica carrera, apoyo diferentes cooperaciones, a nivel local y a nivel internacional. En Francia, participó activamente al desarrollo de un master asociando oficialmente colegas de seis sitios: Lyon (ENS), Chambéry (U. Savoie), Grenoble (U. J. Fourier), Nice-Sofia-Antipolis, Villefranche-sur-Mer/Paris VI, Marseille. Marc Tardy participo a asociar, tanto para cursos como para investigaciones, la Universidad de Savoie y la Universidad de Grenoble dentro de un laboratorio de Geodinámica. Hoy, llamado Instituto de Ciencias de la Tierra (ISTerre), es la componente mayor del Observatorio de Ciencias del Universo de Grenoble (OSUG).

En la última parte de su carrera, MarcTardy estuvo miembro del Comité ECOS-Sur, dedicado al manejo de la cooperación científica y universitaria entre Francia y Chile, Argentina, y Uruguay. Luego fue nombrado, por los

Ministerios de Relaciones Exteriores y de la Educación, Presidente del Comité ECOS-Sur. Durante seis años, más de trescientos proyectos involucrando institutos y universidades de ambos países, desarrollaron investigaciones en todas las disciplinas, permitiendo intercambios de estudiantes en maestría y doctorado.

El Profesor Marc Tardy recibió el Premio Fontannes de la Société Géologique de France (1985) y el Premio Léon Lutaud de la Academia de Ciencias (2006).

Traducido y modificado del artículo publicado en la revista Géochronique\* de la Société Géologique de France, por el Pr. Georges Mascle de la Universidad Grenoble-Alpes.

**Dr. Christian Beck, Dra. Crélia Padron**

(\*) Número 146, 2018.

Researchgate: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Marc-Tardy-73129653>



De izquierda a derecha: Rodolfo del Arenal Capetillo, **Marc Tardy**, Manuel Patiño Ávila, Diego Arturo Córdoba Méndez, Fernando Ríos Macbeth, durante el examen profesional de Rogoberto Ruiz Barragán, Paris VI, Pierre et Marie Curie, Paris, Francia, 1974.

## Ing. Mariano Ruiz Vázquez (1924-1997)

*Ricardo José Padilla y Sánchez*  
*Universidad Nacional Autónoma de México*

El Ingeniero Mariano Ruiz Vázquez fue uno de los pioneros de la Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, en el tiempo en el que los temas geológicos eran resueltos por Ingenieros Civiles o por Ingenieros de Minas, pues la mayoría de los Geólogos estaban ocupados en la prospección petrolera.

Nació el 6 de octubre de 1924, en Villa Jiménez, Michoacán, en un molino de harina que poseía su padre, quien simultáneamente administraba sus tierras y la Hacienda Los Espinos, por lo que los primeros 4 ó 5 años de su niñez, vivió y aprendió a leer en el pueblo de Zacapú.

A finales de los años 20 su padre decidió abandonar Michoacán debido a las grandes diferencias ideológicas y políticas que tenía con el General Lázaro Cárdenas. Se instaló en la Ciudad de México y de ahí se fue como administrador de la finca San Bartola de Berri, en el norte del Estado de Guanajuato, en donde vivió varios años en contacto con la naturaleza, lo que despertó su curiosidad por la ciencia. En sus recorridos por la sierra se preguntaba por qué los metaleros colectaban estaño de las rocas riolíticas, por qué podía nadar en el lago de un cráter volcánico, etcétera.

La primaria y secundaria las cursó en San Luis Potosí, donde, a sugerencia de su padre, también estudió un par de años para Contador Privado, lo cual no le era satisfactorio y le decía a su padre "yo quiero seguir más adelante, yo quiero estudiar Arquitectura o una carrera más formal".

Se trasladó nuevamente a la Ciudad de México para terminar su secundaria en el Colegio México, en donde se les preguntó que iban a estudiar, a lo que Mariano no supo que contestar, pero se pusieron a platicar entre compañeros y uno de ellos, Rafael Pérez Ibargüengoitia, no dudó y contestó que él iba a estudiar para Geólogo porque su padre era Geólogo y trabajaba en el Instituto Geológico de México.

Mariano decide preguntarle más a su compañero:

Mariano: ¿Y qué hace tu papá?



Rafael: Pues estudia el terreno para buscar agua, para buscar minerales, para buscar petróleo.

Mariano: ¡Ah!, ¿es un trabajo que hace en el campo?

Rafael: Sí. Él se va al campo y yo voy con él.

Mariano: ¡Ah!, que cosa más interesante. Yo también voy a estudiar para Geólogo, porque yo he vivido todo el tiempo en el campo, paso mis vacaciones de fin de año en el campo, nací prácticamente en el campo, de manera que soy hombre de campo, me gusta mucho andar a caballo, en fin, me gusta la naturaleza. Es en ese momento toma la decisión de estudiar Geología.

Una vez que termina sus estudios de secundaria ingresa a la Escuela Nacional Preparatoria en la calle San Ildefonso, para finalmente, en 1948 ingresar a la Escuela Nacional de Ingenieros, en donde al igual que ahora, había un tronco común en el primer año y casi todos sus compañeros estudiaban Ingeniería Civil. En el segundo año empezó a separarse de sus compañeros e inició a tomar materias específicas de la carrera como Geología Física y Mineralogía.

En el cuarto año se incorporó a la carrera de Ingeniero Geólogo Juan Puig de la Parra, y se inició una larga amistad entre ellos, y hasta en el día en que se titularon, uno a las siete de la mañana y el otro a las nueve.

Las prácticas en el campo se realizaban en las barrancas de las Lomas de Chapultepec, que entonces no estaban tan pobladas, y las prácticas finales de Topografía, algunas las realizaron en la Región de Tuxpan, pero la mayoría de estudiantes se quedaron en los terrenos de la que sería la Ciudad Universitaria, por la falta de recursos de la Escuela.



Aún así, esas prácticas fueron de gran utilidad porque esa generación, hizo el levantamiento topográfico de todos los terrenos de la Ciudad Universitaria, de lo que resultó un plano topográfico con curvas de nivel cada metro, con orientación solar y con la polar.

Como eran dos alumnos no se les podían financiar prácticas de Geología en las que se requería por lo menos un vehículo, un chofer, viáticos, etc., por lo que Don Hermión Larios, que era el Profesor de Geología, veía la manera de que tuvieran prácticas. Otro Profesor, Don Gonzalo Vivar, los llevaba a realizar prácticas de la Geología que hacían los Ingenieros Civiles, donde les mostraban las fallas, los distintos tipos de rocas, la alteración de las rocas, los suelos, así como algunos fenómenos geológicos.

En sus horas libres, Don Hermión Larios, con toda la buena voluntad que le caracterizaba, les enseñó a identificar megascópicamente todas las rocas de la colección de estudio de la Escuela, para que completaran sus clases de Mineralogía y Petrología. También les enseñó a identificar en el microscopio cristales de cuarzo, de calcita, y de alguna hornblenda.

La Asignatura Mecánica de Suelos era obligatoria pero no se impartía, por lo que Mariano la tuvo que cursar trabajando en el Laboratorio del Dr. Sebas, que era el Profesor de la Asignatura. Ahí le nació el interés por la Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.

En 1952 cuando termina la carrera ingresa a Petróleos Mexicanos, que ofrecía una beca generosa para ese tiempo. Aunque su interés no estaba en la exploración petrolera, realizó su tesis profesional lo más rápido posible porque quería hacer estudios de posgrado. En noviembre de 1953 se recibió con la tesis titulada "Posibilidades Petrolíferas del Eoceno en la zona Bahía de Tampico, Tuxpan", siendo sus sinodales el Ing. Guillermo P. Salas, el Maestro Manuel Álvarez Jr., el Ing. Eduardo J. Guzmán (Director de Tesis), el Ing. Carlos Castillo Tejero, Don Felipe Guerra Peña y el Ing. Federico Mina.

Entre 1953-1954 inicia su carrera académica como Profesor de Geología Física en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En 1954 consigue una beca para hacer estudios de posgrado en la Universidad de Nancy, Francia, a donde parte recién casado. Consiguió apoyo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP), del Gobierno de Francia y del Banco de México. En Francia estuvo dos años estudiando Geología y su importancia en la construcción de presas, túneles, obras portuarias, y vías terrestres, iniciando formalmente la Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.

A su regreso de Francia ya con su postgrado, empieza a trabajar en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en donde

busca sitios para la construcción de presas en distintos Estados de la República como Sonora, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Hidalgo y Tabasco.

Fue el primer Geólogo, que aplicó la Geología a la Ingeniería Civil en México, sumándose a algunos Maestros como Heins Lesser Jones, Lorenzo Torres Izabal, Apolinar Hernández y Gonzalo Vivar, quienes la aplicaban a la exploración geohidrológica, minera y petrolera. Es en este momento en que se institucionaliza la Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.

En octubre de 1956, junto con el Ing. Alejandro Calderón, funda la compañía Geólogos Consultores Asociados (Geoca), siendo su primer contrato en Isla Margarita para buscar agua. El siguiente consistió en estudios de exploración en unas minas de fluorita en Río Verde, San Luis Potosí y después un estudio para geotermia en Ixtlán de los Hervores. Pero, quizá, el trabajo más reconocido de esta Empresa fue el de la exploración regional por uranio para la Comisión Nacional de Energía Nuclear.

En 1957, cuando se creó la Maestría en Mecánica de Suelos, los profesores Raúl J. Marsal Córdoba y Fernando Hiriart Valderrama, lo invitan a impartir la asignatura de Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. Se instituye también en la carrera de Ingeniería Geológica. Ambas clases las daba en el Palacio de Minería a alumnos de Ingeniería Geológica e Ingeniería Civil.

En diciembre de 1976 el Ing. Enrique del Valle Calderón, Director de la Facultad de Ingeniería, le ofrece la jefatura del Departamento de Ingeniería Petrolera, Minera, Geológica y Geofísica, posición que ocupaba a medio tiempo el Ing. Norberto Domínguez Aguirre. Mariano acepta y cuando le informan que el objetivo del Departamento era "Formar a los profesionales responsables de la exploración y explotación de los recursos naturales y buscar la superación académica de sus egresados", comenta: "¡a caramba! es una responsabilidad muy seria buscar la superación académica".

El 2 de enero de 1977 toma posesión del cargo ante un grupo de profesores y los funcionarios: Manuel Ruiz Cortés, Eduardo Cervera, Francisco Querol, Armando Quezadas y Leovigildo Zepeda Dávila. A partir de entonces Mariano inicia una profunda modificación y modernización del Departamento hasta transformarlo en lo que actualmente es, la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Una de las primeras acciones que llevó a cabo fue incrementar el número de profesores de carrera buscándoles un salario competitivo. Con esto en mente, inició negociaciones con funcionarios de Pemex, del Instituto Mexicano del Petróleo, de la Cámara Minera y Empresas Particulares, para que comisionaran a personal con estudios de Maestría y Doctorado como profesores de tiempo completo en la nueva División, a través de un

Convenio de Superación Académica y Profesional para apoyar económicamente a los estudios de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, así como al equipamiento de laboratorios y la realización de prácticas de campo.

Desde 1977 hasta 1986 como Jefe de la División, Mariano dedicó innumerables horas a la docencia y al incremento de la relación escuela-industria, dadas sus buenas relaciones con algunos de los más destacados Ingenieros de esa época. Como ejemplo de esto baste citar el caso del Ing. Juan B. Puig de la Parra, quien propuso la creación de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (CETENAP), actual INEGI, entidad que empezó a operar el 1° de octubre de 1968 bajo el seno de la Secretaría de la Presidencia, en un edificio de 4 000 metros cuadrados ubicado en la Calle de San Antonio Abad 124.

Durante ese tiempo impartió un sin número de cursos y conferencias sobre temas de su especialidad, tanto en el país como en universidades del extranjero, además de dirigir varias tesis profesionales a actuales Ingenieros Geólogos prestigiados.

En 1982 recibió el Premio Nacional de Ingeniería Geológica en el área Académica.

En 1986 regresa a la asesoría y consultoría como Director General de Exyco, S.A., una nueva consultora en donde se involucró de lleno con los nuevos proyectos y contratos de la Empresa, sin abandonar a su *Alma Mater*, a la que servía incansablemente sin cobrar un solo centavo. Donaba todo su salario a la propia Universidad.

Como Consejero Técnico Universitario participó intensamente en comisiones, apoyando a diferentes sociedades, asociaciones y colegios, así como a la Academia Mexicana de Ingeniería, dentro de la cual fungió como el primer Ingeniero Geólogo en ocupar la Presidencia de la misma, donde tuvo una destacada participación en la organización de importantes eventos desde 1982 hasta 1993.

En 1987 participó en un proyecto en el Instituto de Geofísica sobre un modelo geológico de la Cuenca de México, algo que le interesaba mucho porque decía "...no conocemos la Cuenca de México a profundidad y aunque ese modelo geológico no es para fines geotécnicos, creo que una vez que tengamos el modelo final de cómo es la Cuenca de México hasta los dos mil y pico de metros, nos será útil también para fines geotécnicos".

**Fue miembro de diversos Comités y Comisiones entre las cuales destacan:**

1. Presidente y Miembro de las Comisiones Dictaminadoras de la División de Ingeniería en

Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería, así como de los Institutos de Geología y de Geofísica hasta su

fallecimiento.

1. Miembro del Comité de Selección de Becarios del CONACYT.
2. Coordinador Técnico por parte de SEFI, de los trabajos conducentes a la restauración y apertura del edificio original que alojó al Real Seminario de Minería en la calle de Guatemala 90, en donde hoy se ubica el Museo de la Minería Mexicana.
3. Coordinador del Congreso Internacional sobre el Estado del Arte de la Ingeniería en México y el Mundo organizado por la Academia Mexicana de Ingeniería en 1990, 1991 y 1993.
4. Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas: Vicepresidente (1972-1975) y Presidente (1977-1979).
5. Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería (SEFI): Miembro del Comité Administrador (1969-1970). Consejero de 1978 a 1988 y de 1987 a 1990.
6. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos: Socio Fundador y Tesorero (1969- 1970)
7. Colegio de Ingenieros Geólogos de México A.C.: Vicepresidente (1987-1990).

**Algunas de sus distinciones fueron:**

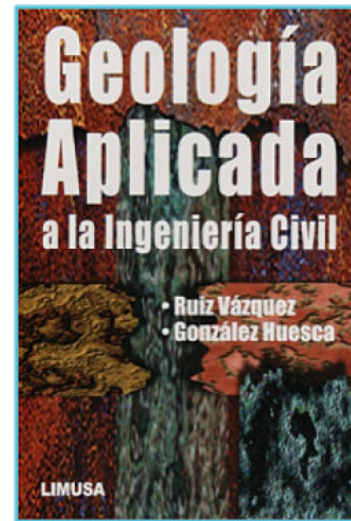
- Consejero Técnico Estudiantil, Escuela Nacional de Ingenieros, U.N.A.M. (1950-1952).
- Diploma y Medalla de Plata al Mejor Pasante de la Carrera de Ingeniero Geólogo (1952).
- Diploma de la Organización de Estados Americanos (OEA) por el Curso Impartido (1957).
- Diploma de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, por su participación en diversos trabajos (1969-1972).
- Integrante de la terna para Director de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. en 1982.
- Premio Nacional de Ingeniería Geológica en el Área Académica (1982), otorgado por el Colegio de Ingenieros Geólogos de México, la Sociedad Geológica Mexicana, la Sociedad Mexicana de Geohidrología, la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros y la Asociación de Ingenieros Geólogos del I.P.N.
- Medalla de Plata y Diploma al Mérito Universitario por 25 años de labor docente en la U.N.A.M. (1984).
- Integrante de la terna para Director de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. en 1987.
- Consejero Universitario de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (1988 -1993).
- Miembro del Comité Académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí desde 1993 hasta su fallecimiento el 24 de enero de 1997.
- Martillo de Plata, al reconocimiento Académico 1996, Colegio de Ingenieros Geólogos: Distinción entregada "post mortem" su Señora Esposa por el Presidente del Colegio y por el Sr. Rector de la U.N.A.M.





De izquierda a derecha: Ing. José Carrillo Bravo, Dra. Carmen Pedrazzini, Dr. Ricardo José Padilla y Sánchez, Ing. Mariano Ruiz Vázquez, Ing. Alejandro Vázquez, Ing. Lorenzo Torres Izábal e Ing. Héctor Alonso Espinosa, durante la ceremonia de ingreso como Académico Titular del Dr. Padilla el 24 de febrero de 1994.

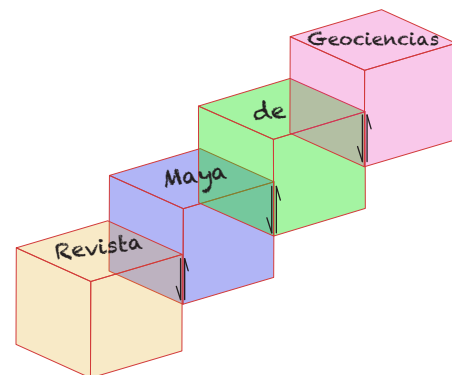
Una referencia obligada en la ingeniería mexicana es el libro Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, que el Ing. Mariano Ruiz Vázquez escribió junto con una distinguida alumna y estupenda Ingeniera, Irma Silvia González Huesca.



**Fuentes de información utilizadas:**

Rolando de la Lata Romero - Academia Mexicana de Ingeniería, Homenaje a la Memoria del Señor Ingeniero Mariano Ruiz Vázquez: CONFERENCIA MAGISTRAL "MARIANO RUIZ VÁZQUEZ", 29 de marzo del 2007

Fernando Castillo Nieto - Crónicas de la Geología, Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería (SEFI): Entrevista al Ing. Mariano Ruiz Vázquez, abril de 1988



# PIONEROS DE LAS GEOCIENCIAS

## Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo

*Salvador Ortuno Arzate*  
*Universidad Nacional Autónoma de México*

El **Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo** es originario de la Ciudad de los Palacios, Ciudad de México, donde cursó sus primeros estudios de educación básica y media superior, entre los años de 1948 a 1958.

Actualmente, por su distinguida trayectoria profesional y científica, cultivada tiempo ha, el Dr. Aguayo ostenta el nombramiento de Investigador Titular "C" de Carrera, como docente en las carreras de licenciatura y el posgrado de la División de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México; asimismo, es Investigador Nacional Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores; Miembro Científico de la Academia Mexicana de Ciencias, A. C.; y Académico Titular de la Academia de Ingeniería, A. C.

**Formación Académica**

En su vocación temprana por el saber, ingresa a la educación profesional en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, obteniendo el título en la licenciatura de Ingeniería Geológica en 1966. Seguidamente, en 1971 obtiene el grado académico de Maestro en Ciencias de la Universidad de Baylor en Texas; y el grado de doctor (Ph. D.), en 1976, en Ciencias Geológicas, de la Universidad de Texas en Dallas, habiendo obtenido el Premio Amelia A. Lundell, como alumno distinguido de esta prestigiada universidad. De su intensa actividad académica y la dedicación a las ciencias Geológicas, el Dr. Aguayo Camargo es ampliamente reconocido en las especialidades académicas y profesionales como la Sedimentología, la Estratigrafía, la Geología Marina y la Exploración Geológica petrolera.

**Experiencia Profesional**

Desarrollando una destacada labor, y cultivando grandes méritos y experiencia profesional, desempeñó diferentes cargos y responsabilidades científicas, a saber:



1. Participación en trabajos técnicos de ingeniería y exploración geológica en Petróleos Mexicanos, en las provincias geológicas del sur y norte de México y de exploración geohidrológica en el noroeste del país para la Secretaría de Recursos Hidráulicos, durante los años 1964 a 1968; 2. En 1969 ingresó al Instituto Mexicano del Petróleo como investigador en el Departamento de Estratigrafía y Sedimentología y, de 1977 a 1987, se desempeñó como investigador y jefe del Departamento de Sedimentología y Geoquímica del Petróleo y, posteriormente, como jefe de la División de Evaluación Geológica de Cuencas Sedimentarias; 3. Asimismo, fue nombrado Investigador Titular de Carrera durante 1987 a 1998 y, posteriormente como director del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, durante el periodo 1991 a 1995; 4. A partir de 1998 es nombrado Investigador Titular de Carrera y Profesor en la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

**Proyectos de Investigación**

De incansable labor y un denodado amor por la Geología, el Dr. Aguayo Camargo, ha participado en proyectos de investigación en equipos multidisciplinares internacionales en variados escenarios, entre los que destacan diversos proyectos geológicos de investigación sobre caracterización e interpretación paleo-sedimentaria y tectónica-estratigráfica, tanto en objetivos de carácter académico como de aplicación a la exploración petrolera y



de recursos hídricos, enfocados en las secuencias sedimentarias del Mesozoico, Cenozoico y Reciente, en una amplia gama de provincias y paisajes geológicos continentales, en las franjas costeras y en los mares profundos de México. Además, como investigador científico ha participado con equipos multinacionales de investigación geológica en exploración de la Geología marina en el Océano Pacífico Mexicano, Golfo de México y el Mar Caribe, a bordo de los buques "Justo Sierra" y "El Puma", de investigación oceanográfica, de la UNAM; así como a bordo de los buques oceanográficos de los Estados Unidos como el "Glomar Challenger", "Atlantis" y el submarino "ALVIN", en cruceros en el Golfo de California y el Océano Pacífico Mexicano, este último con el objetivo de elaborar el levantamiento de la cartografía oceánica; así mismo a lo largo de la trinchera mesoamericana, desde Panamá hasta San Pedro en California en los Estados Unidos; y finalmente, a bordo del B/O "Roger Revelle" de Scripps Institution of Oceanography.

#### Investigación en Geología de Campo

El campo, la naturaleza son el laboratorio de la fenomenología geológica. La Geología de campo ha sido siempre uno de los grandes saberes del Dr. Eduardo Aguayo. Así como los grandes pioneros de la Geología en el siglo XVIII y XIX, Hutton, Lyell, o Cuvier, y en México, Ordoñez y Aguilera, ha recorrido los grandiosos escenarios en los paisajes geológicos en montañas, planicies, costas, mares y océanos del Paleozoico al Reciente, en las lejanas regiones del mundo. Su brillante discernimiento, interpretación y juicio epistemológico, le han permitido reconstruir las páginas más brillantes y excelsas de los complejos procesos geológicos. Ha discernido y escuchado la música de la Tierra; porque la Geología profunda es el desciframiento de las leyes de la naturaleza; es penetrar en los misterios de la materia. Y esa es la intuición de la música de la Tierra. La ciencia geológica se construye en la labor incansable y la construcción de conceptos, en la exégesis más perfecta y creativa del pensamiento. Así, el Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, ha recorrido los senderos más profundos del espacio-tiempo geológico, construyendo la filosofía natural y el saber profundo de la Tierra.

*...CIENCIA es el enlace del  
HOMBRE con la NATURALEZA, que  
responde con otras exigencias,  
un orden secuencial de pensamiento  
y de acción: observación y registro,*

*análisis y clasificación,  
integración e interpretación,  
y comprobación.  
Cualquier cambio en este orden,  
o es poesía, o es error..*

#### Actividad Docente

A tan acendrada devoción y conocimiento por la Geología, se suma en los intereses del Dr. Eduardo Aguayo, su pasión y vocación académica por la enseñanza, la docencia; como ingrediente humanístico del erudito que comparte el gozo intelectual por el saber. Por ello, ha impartido infinidad de cursos, talleres y academias, y asesorado innumerables tesis de licenciatura y posgrado (maestría y doctorado), en las Facultades de Ingeniería y Ciencias de la UNAM, en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, en el Instituto de Ciencias del Mar y en el de Ciencias de la Tierra de la UNAM.

Además, en actividades de divulgación de la ciencia y el saber de la ingeniería, ha participado como congresista y expositor en convenciones, congresos y simposios de una gran diversidad de temas de su especialidad en más de 250 coloquios profesionales y académicos, tanto nacionales como internacionales. La divulgación de saberes de alto nivel científico, ha encontrado una eficiente vía a través de la autoría y el patrimonio intelectual de Dr. Aguayo, materializados en la publicación de más de 150 artículos científicos y técnicos, en variadas publicaciones y revistas arbitradas de circulación nacional e internacional, así como de libros y variados capítulos en libros de divulgación de la investigación y de las ciencias.

#### Reconocimientos y Distinciones Académicos y Profesionales

A tan prolífica labor por la investigación y la ciencia, trayectoria profesional y académica, los reconocimientos, distinciones y premios otorgados por organismos e instituciones de educación superior y de investigación, tanto nacionales como internacionales, no han faltado al denso *curriculum vitae* del Dr. Aguayo Camargo; Así, de una vasta enumeración, se destacan los siguientes reconocimientos:

- Premio Amelia A. Lundell, como alumno distinguido en la Universidad de Texas en Dallas; otorgado en 1974.
- Estímulo y recompensa por desempeño Profesional en el Instituto Mexicano del Petróleo; conferido en 1980 y 1986.
- Miembro del Comité Técnico de Expertos de exploración petrolera de la agrupación de

Asistencia Recíproca Petrolera Estatal Latinoamericana (ARPEL), de la 35ª Reunión México-Brasil; en 1980 y 1981.

- Miembro del Comité Técnico de México ante la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Guatemala, Guatemala; de 1983 a 1987.
- Miembro científico del Convenio de Colaboración Internacional sobre la Zona Económica Exclusiva del Sureste de México (PROGEMA); Universidad de Burdeos, en Francia e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; durante los años 1985 a 1988.
- Medalla y Diploma conferidos en 1986 por el tema: "Origen y evolución de hidrocarburos tempranos en el Golfo de California, NW de México". Nuevos Conceptos en Exploración. Reunión a Nivel de Expertos de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE); Buenos Aires, Argentina.
- Investigador Nacional Nivel 1, nombramiento en 1987; y Nivel 2 desde 1990 en el Sistema Nacional de Investigadores.
- Miembro del Comité Científico de Investigación Oceanográfica (SCOR); desde 1985.
- Miembro de *The Global Sedimentary Geology Program*, con sede en Amsterdam, Holanda; desde 1987.
- Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, A. C., desde 1989.
- Coordinador Nacional de Ciencias del Mar del Programa Internacional GEOSFERA - BIOSFERA (IGBP) del ICSU; en 1992.
- Miembro de la Delegación Mexicana en la Cuarta Reunión de la Subcomisión IOCARIBE-COI, UNESCO. Veracruz, Ver.; noviembre de 1992.
- Representante Nacional ante la 17ª Asamblea de la Comisión Intergubernamental de la UNESCO. París, Francia; en 1993.
- Presidente de la Sociedad Geológica Mexicana, A. C., durante el Bienio 1994 - 1995.
- Miembro del jurado calificador del Premio Nacional de investigación Oceanográfica de la Secretaría de Marina y CONACYT; de 1992 a 1995.
- Corresponsal Nacional del Programa Internacional Inter-Ridge, con sede en el Reino Unido y en París, Francia, desde 1990.
- Miembro Científico del "Grupo de trabajo en Ciencias Oceánicas" del *National Research Council, USA*, y de la Academia Mexicana de Ciencias, A.C. en 1995.
- Miembro de los Comités Institucionales de Expertos en el Programa de Carrera de Investigadores y Especialistas del Instituto Mexicano del Petróleo; en 1996.
- Miembro del Comité Técnico de Evaluación de Peritos del Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A.C.; desde 1997.
- Líder en expediciones de campo sobre secuencias estratigráficas en la Sierra Madre Oriental del Buro de Geología Económica de la

Universidad de Texas en Austin, Texas, y la compañía petrolera *Teikoku* de Japón; en 1998.

- Vicepresidente de Educación e Investigación del Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A.C., durante el trienio: 1999-2002.
- Coordinador y líder de la expedición geológica al Sureste de México para expertos geólogos, geoquímicos y geofísicos de la Compañía Petrolera *Teikoku Oil*, de Japón; en 2000.
- Premio Nacional "Martillo de Plata", por desempeño profesional en Investigación Geológica, otorgado por el Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A.C., Palacio de Minería, UNAM; en 2002.
- Ingreso a la Academia de Ingeniería como "Académico Titular" en la Comisión de Especialidad de Ingeniería Geológica; en 2003.
- Miembro del Consejo Consultivo del Programa de Ciencias Oceánicas de la Academia Mexicana de Ciencias; desde 2004.
- Reconocimiento profesional en la enseñanza de jóvenes y geocientíficos en la exploración petrolera, otorgado por la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, A.C. Ciudad del Carmen, Campeche; en 2006.
- Invitado de Honor y como Secretario Ejecutivo en el 5º y 6º Foros Internacionales: Desarrollo Sustentable del Cambio Climático. Instituto Politécnico Nacional y Unidad Nacional de Asociaciones de Ingenieros, A.C., en 2009 y 2010.
- Miembro científico del Foro Consultivo Científico, Tecnológico y de Innovación de la Subsecretaría de Educación Pública; desde 2010.
- Miembro Científico Nacional de la Red de Observatorios de Movilidad Académica y Científica de los Mexicanos (PROMAC) financiado por CONACYT; durante 2015 a 2018.

Asociaciones a las que pertenece el Dr. Aguayo Camargo: Sociedad Geológica Mexicana (1969-); Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (1972-); Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, A. C. (1969-); Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo (1982-); Sociedad Mexicana de Historia Natural, A. C. (1987-); The Geological Society of America (1989-); The American Association of Petroleum Geologists (1989-); y Colegio de Ingenieros Geólogos de México, A. C. (1991-).

#### Reconocimientos, Distinciones y Premios Conferidos por la UNAM

También, copiosa es la gran cantidad de reconocimientos, distinciones y premios otorgados por la Universidad Nacional Autónoma de México, su *Alma Mater*, por la eminente labor académica y de investigación desplegada



por el Dr. Aguayo Camargo a lo largo de los años. Algunos reconocimientos son los siguientes:

- 1.- Mención Especial por la Tesis Profesional de licenciatura geológica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM; en 1966.
- 2.- Profesor de Asignatura Interino, impartiendo la materia de Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, en la División de Ciencias de la Tierra; en 1969.
- 3.- Titular de la materia de "Estratigrafía", mediante concurso de oposición abierto, para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Geológica; en 1978.
- 4.- Jefe del Departamento de Geología del Petróleo y Geohidrología, de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería; en 1980.
- 5.- Profesor de diversas asignaturas de la especialidad, en el Programa de Posgrado (Maestría y Doctorado) de la Facultad de Ingeniería; desde 1981.
- 6.- Investigador Titular "B" de carrera de T.C. y definitivo en 1990 por concurso cerrado; desde 1987.
- 7.- Presidente del Claustro del Personal Académico del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM; de 1989 a 1990.
- 8.- Primas al Desempeño del Personal Académico de Tiempo Completo de la UNAM. Programa de Estímulos a la Productividad del Niveles D y C; desde 1989.
- 9.- Director del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Durante el periodo 1991 - 1995.
- 10.- Estímulo en el Programa de Fomento a la Docencia para profesores e investigadores (FOMDOC), desde 1999.
- 11.- Reconocimiento Académico por la labor docente y formación de estudiantes dentro del Programa "Tutoría para Todos" (COPADI), en la Facultad de Ingeniería, UNAM; en 2002.
- 12.- Reconocimiento por alto desempeño académico en la impartición de la asignatura "Estratigrafía" (semestre escolar 2002- 1), por el Departamento de Geología del Petróleo y Geohidrología de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería, UNAM; en 2002.
- 13.- Diploma y Medalla al "Mérito Académico" otorgado por la Universidad Nacional Autónoma de México, por 25 años de labor académica continua; 15 de mayo, 2003.
- 14.- Reconocimiento Académico por desempeño como Tutor en el Programa "Tutoría para Todos", Nueva Época: La Consolidación de la Coordinación de Programas de Atención Diferenciada para Alumnos (COPADI), UNAM; marzo 7, 2005.
- 15.- Reconocimiento como Miembro del Comité de Carrera de Ingeniería Geológica en la revisión, modificación y actualización del Plan de Estudios 2005. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, UNAM; mayo 2005.
- 16.- Promoción en la Facultad de Ingeniería, UNAM como Investigador de Carrera Titular "C". Septiembre 22, 2004.
- 17.- Medalla y Diploma como Miembro Académico de la Comisión Dictaminadora en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, UNAM., del 2007 al 2014.
- 18.- Representante Propietario de Académicos en el Comité Académico del Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Petrolera, UNAM. 2008-2012.

- 19.- Reconocimiento por 35 años de Antigüedad Docente. Medalla y Diploma. Facultad de Ingeniería, UNAM; mayo 17, 2012.
- 20.- Reconocimiento al Mérito Universitario.; Medalla y Diploma UNAM; mayo 23, 2013.
- 21.- Medalla y Diploma por participación como Miembro Académico en la Comisión Dictaminadora de la Facultad de Ingeniería; de 2012-a 2014.
- 22.- Reconocimiento por participación como Miembro Académico del Consejo de Investigación de la Facultad de Ingeniería, UNAM; durante el periodo: 2009-2015.
- 23.- Reconocimiento por Antigüedad Académica; Medalla y Diploma por 40 años de actividad docente, Facultad de Ingeniería, UNAM; en 2018.
- 24.- Consejero Técnico Suplente de la Facultad de Ingeniería, UNAM; durante el periodo 2018-2022.

Esta semblanza sucinta, es solo un breve reconocimiento a la destacada labor científica y humanística del Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, en pro de las ciencias geológicas y la divulgación del conocimiento. Al eminente Geólogo y Maestro, al forjador de innumerables generaciones de científicos de las ciencias de la Tierra. Al distinguido y noble hombre de ciencia. Al intelectual y preclaro humanista de la historia de la ciencia y la cultura.

### Bibliografía

- Aguayo, C. J. E., 1975.- *Sedimentary environments and diagenetic implications of the El Abra Limestone at its type locality, east Mexico*. University of Texas at Dallas. Ph. D. dissertation, 159 p. (unpublished).
- Aguayo, C. J. E., 1978.- *Sedimentary environments and diagenesis of a Cretaceous reef complex, eastern Mexico*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Anales, v. 5, no. 1, pp.83-140.
- Aguayo, C. J. E., 1981.- *Origen y Distribución de Sedimentos en el Golfo de California, NW de México*. Rev. Inst. Mex. del Petróleo, XIII (2): 5-19.
- Aguayo, C. J. E., 1982.- *Composition and Source of Detrital Sand Layers from the Guaymas Basin*. Initial Rep. Deep Sea Drilling Project. LXIV, Part 2. Washington, D. C., Leg 64, p. 1307-1313.
- Aguayo, C. J. E., 1983.- *Sedimentation and diagenesis of mid-Cretaceous platform margin, east-central Mexico, in* Minero, C. J., Enos, P., and Aguayo-Camargo, J. E., eds., *Sedimentation and diagenesis of mid-Cretaceous platform margin, east-central Mexico*: Dallas Geological Society, Publication with accompanying Field guide, April 1983, 168 p.
- Aguayo, C. J. E., 1984.- *Estudio de los sedimentos terrígenos de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California, NW de México*; Rev. Inst. Mex. Petrol. XVI (4), p. 5-35.

Aguayo, C. J. E., 1988.- *Procesos Sedimentarios y Diagenéticos Recientes y su Importancia como Factores de Interpretación de sus Análogos Antiguos*. Bol. Soc. Geol. Mex., XLIX, nos.1-2:19-44.

Aguayo, C. J. E., 1991.- *Geologic evolution of the Sierra El Abra and its sedimentary and diagenetic implications, east-central Mexico, in* Enos, Paul; Minero, C. J., Aguayo-Camargo, J. E.; and Stephens, B. P., eds., *Sedimentation and diagenesis of middle Cretaceous platform margins, east-central Mexico*: Dallas Geological Society, Annual Convention, Field trip-1, April 3-7, p. 1-21.

Aguayo, C. J. E., 1991.- *Rasgos morfoestructurales mayores de las regiones marinas de México*. Memoria de la Convención sobre la Evolución Geológica de México, Primer Congreso Mexicano de Mineralogía., p.3.

Aguayo, C. J. E., 1992.- *Avances recientes sobre Sedimentología y Diagénesis*. Revista de Geografía, Vol. 4, No. 5, México. p. 77-99.

Aguayo, C. J. E., 1993.- *The middle Cretaceous El Abra Limestone at its type locality and Laguna Colorada, east-central Mexico, in* Alencáster, Gloria and Buitrón, B. E., eds.; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Third International Conference on Rudists, México, D. F., nov. 20-28, Guidebook for field trip "A", 43 p.

Aguayo, C. J. E., 1997.- *The middle Cretaceous El Abra Limestone at its type locality (facies and diagenesis), east-central Mexico*; Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México, Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, 2nd., Pachuca, Hgo., Simposio sobre Estratigrafía y Paleogeografía del Mesozoico en México, Memoria (4p.) (abstract).

Aguayo, C. J. E., 1998.- *The Middle Cretaceous El Abra Limestone at its Type Locality (Facies, Diagenesis and Oil Emplacement), East-Central Mexico*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 15, Núm. 1, pp. 1-8.

Aguayo, C. J. E., M. A. Gutiérrez-Estrada, J. Araujo-Mendieta, 2003.- *Modelo conceptual sobre la evolución tectono-sedimentaria del suroeste del Golfo de México y de la llanura costera contigua*. Contribuciones Científicas (artículo científico) en el Libro: Agustín Ayala-Castañares. Edición: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; Coordinación de Difusión Cultural, UNAM; Comisión Oceanográfica Intergubernamental, UNESCO.1ra. Edición: p. 225-244. (ISBN 970-32-0789-8), 371 p.

Aguayo, C. J. E., 2005.- *Neotectónica y facies sedimentarias cuaternarias en el suroeste del Golfo de México, dentro del marco tectono-estratigráfico regional evolutivo del Sur de México*. Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. VI, no. 1, p. 19-45. ISSN 1405-7743.

Aguayo, C. J. E., Arellano, G. J. y Santillán, P. N., 2018.- *Prograding low-density turbidite systems and oil traps at the Lower Paleogene Chicontepec Foreland Basin, East-Central Mexico*. Sistemas turbidíticos de baja densidad progradacionales y trampas de aceite en la Cuenca de Antepais de Chicontepec del Paleógeno Inferior, Centro-Oriente de México. Ingeniería Investigación y Tecnología. Volumen XIX. Núm. 4; pp. 1-12. ISSN 2594-0732 FI-UNAM.

Aguayo, C.J.E., Arellano, J., Santillán, P.N., Meneses, L. L., 2013.- *Contribution to the improvement of the sedimentological model for the Chicontepec Paleochannel, Mexico*. Heavy Oil: Latin America Conference and Exhibition, 1-6.

Aguayo, C. J. E. y Marín, C. S., 1987.- *Origen y evolución de los rasgos morfoestructurales postcretácicos de México*. Bol. Soc. Geol. Mexicana, Tomo XLVIII, No. 2.

Aguayo C. J. E., Sandoval O.J.H., Araujo M.J. y Santillán P.N. 2006.- *Geología regional de la Cuenca de Chicontepec del centro-oriente de México, como antecedente para el estudio de su porción noroccidental en afloramiento*. III Simposio: La investigación y desarrollo en la Facultad de Ingeniería. UNAM. (Inédito).

Aguayo, C.J.E., Santillán, P.N., Arellano, J.L., 2016.- *Sistemas sinorogénicos progradacionales y migración de HC'S en la Cuenca de Antepais de Chicontepec del Paleógeno Inferior, Centro-Oriente de México*. Seminario de Investigación y Docencia. Facultad de Ingeniería, UNAM, (Conferencia y Resumen).

Ávalos, H., Aguayo, J.E., Aquino, A., Méndez de León, J., 2017.- *Análisis petrofísico en yacimientos compactos; porción central del paleocañón de Chicontepec*. Ingeniería Petrolera, 57(4), 238-260.

Curry, J. R., D. G. Moore; J. E. Aguayo, M. Pierre, G. Einsele, D. Fornari, J. Giske, J. C. Guerrero, M. Kaster, K. Kelts et al, 1979.- *Leg 64 Seeks Evidence on Development of Basin*. Geotimes, D. S. D. P. Group Leg 64, p.18-20.

Einsele, G., J. E. Aguayo, J. Guerrero-García, et al, 1980.- *Intrusion of Basaltic Sills into Highly Porous Sediments and Resulting Hydrothermal Activity*. Nature, 283: 441-445.





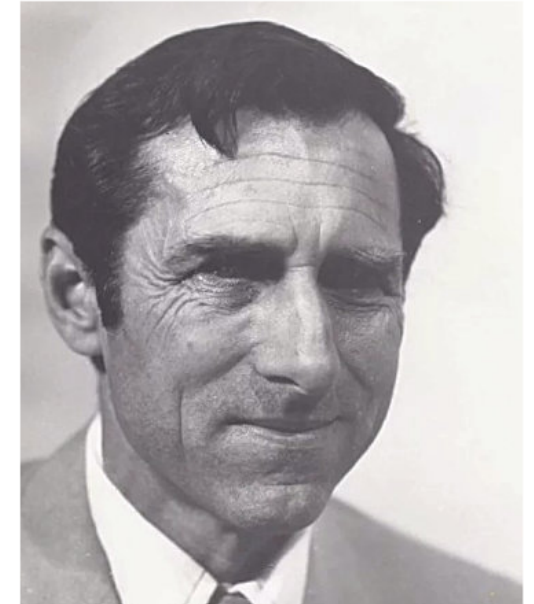
1969 - 2019

**¡GRACIAS UNAM!**



## Gordon Gastil: (1928-2012)

**Gordon Gastil** was born in 1928 and grew up in Encanto, Calif., when it was still semi-rural. His family moved to Alpine, Calif., and he and his brother Raymond both attended Grossmont High School, where they participated in debate. He earned his Ph.D. in geology from U.C.-Berkeley in 1953 and worked on iron exploration and was drafted into the U.S. Army, making maps in Alaska. He married Janet Manly in 1958, and they had four children (Garth, Mary, George, and John). In the mid-1960s he designed and built the family home in La Mesa. He often took family members on trips to Mexico, principally to Baja California but also to Sonora and other states. In 1972-73, the family lived for four months and stayed in Mexico City and Tepic, Mexico.



In the mid-1970s, he devoted considerable time to political activities. He authored the eco-conscious book "We can save San Diego" in 1975. When he ran for Congress in 1976, he said his campaign was his "bicentennial project," but it was part of a life-long involvement in San Diego politics, including his wife Janet's successful 1977 school board campaign. They also expressed their concerns about peace and social justice through their membership and work in the Religious Society of Friends (Quakers).

Gordon continued to work in geology and politics throughout his life, and he also continued to write poetry and stories, something he had done since his early childhood. After traveling much of the world with his wife Janet, they collaborated on the book "Follow the Sun," a work of anthropological fiction that traced the path of an imaginary ancient traveler who circumnavigated the globe. Much of that book was written while living in Julian, Calif., where he and Janet helped maintain an orchard and enjoyed the company of their many friends in that small town.

### Professional Biography

David Kimbrough has generously shared the following professional biography, which was a dedication to Gordon in a published volume of geologic essays.

This volume is dedicated to R. Gordon Gastil, Professor Emeritus at San Diego State University, in recognition of his outstanding contributions to the geosciences through geologic mapping and interpretation of Earth history. Together with students and colleagues Gordon mapped thousands of square kilometers in Arizona, California, and Mexico, including the entire state of Baja California! He was awarded the prestigious Dibble Medal on August 21, 2002 in recognition of his extraordinary accomplishments in field geology and geologic mapping. Gordon's insatiable curiosity and geologic insight served as a model for many hundreds of San Diego State University students across five decades who learned the art of geologic mapping under his direction.

Although well known for his mapping efforts in Baja California, Gordon's broad range of interests and remarkable ability to break new ground across scientific disciplines is truly the hallmark of his rich scientific research career. His breadth and originality are perhaps best illustrated by his 1960 American Journal of Science paper entitled "The Distribution of Mineral Dates in Time and Space." This highly innovative contribution presented the first global synthesis of continental crustal evolution



Basaltos cordados, Michoacán, 1980



Aranda -Mar Baltico, Finlandia, 1990



Aranda -Mar Baltico, Finlandia, 1990



Submarino Alvin, Golfo de California, 1989



based on radiometric dating and distribution of rock units. His approach here of weighing mineral dates against outcrop areas validated basic concepts of “orogenic periodicity” and established the basic pattern of global scale episodic continental growth still recognized today. Many of the questions and problems posed in Gordon’s 1960 paper endure as central topics of research in the earth sciences today.

Russell Gordon Gastil was born in San Diego, California, June 25, 1928 to Francis and Russell Gastil. Raised in San Diego, by high school he was already attracted to geology as a profession because of the possibilities for exploration and discovery. He enrolled at San Diego State Teachers College (now San Diego State University) where he came under the influence of Professor Baylor Brooks who later established the Department of Geological Sciences at SDSU. At the time, no geology degree was offered at SDSU so Professor Brooks directed Gordon to the University of California, Berkeley where he completed a B.Sc. in geology, then continued on for a Ph.D. in the same Department which he received in 1953. Gordon’s doctoral thesis at Berkeley was a study of Proterozoic crystalline basement rocks in south-central Arizona for which he had Fellowship support from the Oak Ridge National Laboratory. He mapped and used a portable scintillometer to measure in situ radioactivity of rocks as part of this work; this experience helped establish his early interest in the rapidly developing techniques of radiometric rock dating. Upon graduation and following a short stint working for Shell Oil Company, Gordon was drafted into the U.S. Army and served 22 months in southern Alaska and the Aleutians where he did geologic mapping with John Reed. Along the way he collected granite samples for lead-alpha dating by Esper Larson at Harvard, and subsequently did the zircon separation work at the Naval Gun factory in Washington D.C. Following Army service, Gordon spent the next three summers doing mineral exploration and mapping work in Labrador for a mining company (Canadian Javelin), spending the intervening winters in Montreal and at Harvard. He then returned to California to the University of California, Los Angeles where he taught for three semesters before Baylor Brooks brought Gordon onto the San Diego State College faculty as a full-time faculty member in 1959.

Gordon received his first NSF grant at SDSU – for Pb-alpha dating – in 1961. In 1963, he and Ned Allison secured NSF funding to begin producing a reconnaissance geologic map of the State of Baja California. They hired six undergraduate students that first year (including two from Universidad Autónoma de Baja California in Ensenada), ordered air photographs, and the quest was on! Most of the mapping was done over the next four years but continued until all of the mapping was compiled at a scale of 1:250 000 in 1971. The map subsequently was published in 1975 as part of Geological Society of America Memoir 140 “Reconnaissance geology of the State of Baja California.” What is remarkable about this mapping feat is not only that it was accomplished with undergraduate students, but that there were no reliable topographic base maps at the time, virtually no paved or graded roads, and the general inaccessibility of large areas made the going extremely tough. Along the way he mapped a large section of the State of Sonora including Tiburon Island on the mainland edge of the Gulf of California. The Baja map, published in three separate sheets and now out of print, remains as a primary regional mapping contribution still highly sought after by all Baja California geologists. It is certainly appropriate that these maps are being made available again in the Gastil volume as pdf files on CD-ROM. Gordon’s mapping experience in Baja California and surrounding areas formed the foundation of his research at SDSU. He has always freely shared his enthusiasm and ideas with students, colleagues, and anyone else interested in the Earth. He ultimately supervised 58 Master’s theses at SDSU along with many dozens of undergraduate research projects known as “senior reports.” Although most of this material has been published in one form or another – a visit to the SDSU library to review thesis material is now almost a standard pilgrimage undertaken by anyone initiating new research or mining projects in Baja California.

Gordon’s research on the tectonic/geologic history of Peninsular California and adjacent Mexico has established his position in the upper echelon of Cordilleran geologists. Highlights are almost too numerous to mention. He was the first to recognize the strong transverse asymmetry across the Peninsular Ranges batholith (PRB) and its natural separation into distinct western and eastern

provinces (a feature independently recognized by Lee Silver and co-workers at Cal Tech). Building on earlier work of Richard Mirriam and Esper Larsen, he also recognized contrasting patterns of pluton zonation within the PRB including ring dikes and cone sheet structures in the western province. Following the arrival of Daniel Krummenacher at SDSU in 1969, Daniel and Gordon initiated two major projects in K-Ar dating. The first, across the northern third of the PRB documented the strongly asymmetrical west to east Cretaceous uplift and cooling history of the batholith; the second involved dating of Cenozoic volcanic rocks in the circum-Gulf of California and relating this history to the evolving North American-Farallon-Pacific plate boundaries. Current knowledge of the prebatholithic stratigraphy of Peninsular California is largely based on the work of Gordon and his students – much of which is published in GSA Special Paper 279 edited by Gordon and Rick Miller. Starting in 1973, with support from PEMEX, Gordon and his students initiated major mapping projects in the Vizcaino Peninsula region of west-central Baja California that established much of the basic geology of the region including documentation of

ophiolite complexes. He did early work on the “elevated erosion surfaces” of the Peninsular Ranges speculating on their tectonic significance. Together with students using a magnetic susceptibility meter he established the ilmenite-magnetite line within the PRB and pioneered its use as a provenance tool in sedimentary successions.

Inasmuch as Gordon and his students have published frequently through his career in Geological Society of America journals, as well as his major contributing efforts to Memoir 140 and Special Paper 279, it is certainly appropriate that this volume be included in the GSA Special Publication series.



**Gordon Gastil cartografiando en Baja California, México.**



**At UABC on first day of Baja mapping project. - Back row - Raymundo Lequanda, Gordon, Bob Slyker, JR Morgan, UABC rector, Caesar Obrigon, Katsu Nishikawa: Front - Jon Minch, Ned Allison, and Bill Elliott.**



# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

### Manuel Contreras López

Petrología, geoquímica, isotopía Sr-Nd-Hf y geocronología UPb del transecto Sierra El Arco-El Barril: Magmatismo del Jurásico Medio al Cretácico Tardío, extremo sur del Cinturón Batolítico Peninsular, Baja California, México.

Tesis selecta presentada durante el 2020 en el Centro de Investigación Científica y de Educación superior de Enseñanza, Baja California (CICESE), Mexico. Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Doctorado en Ciencias. **Director de tesis: Dr. Luis Alberto Delgado Argote.**

#### Resumen

El registro geológico de subducción del Jurásico-Cretácico está ampliamente expuesto en el sur de California, Baja California y el noroeste de México. Sin embargo, el registro está fragmentado y presenta una variación en la petrología, geoquímica y temporalidad, dificultando una comprensión integrada de la evolución geológica regional. Este trabajo está enfocado en la petrogénesis de rocas plutónicas y encajonantes del extremo sur del Cinturón Batolítico Peninsular, a lo largo del transecto Sierra El Arco-El Barril, el cual proporciona un registro de subducción del Jurásico Medio al Cretácico Tardío (166-92 Ma). El magmatismo del Jurásico Medio-Cretácico Temprano (166-140 Ma) se desarrolló como un arco de islas con rocas sedimentarias de cuenca intra-arco y oceánica marginal (entre el arco y el margen continental). La secuencia de arco, expuesta en la sierra El Arco, varía desde peridotita hasta granodiorita, con rocas volcánicas basálticas a dacíticas asociadas, el conjunto sufrió un metamorfismo en facies de esquisto verde. Las rocas metaígneas presentan valores negativos de  $\epsilon_{\text{Srt}}$  (promedio -8.4, n=23) y positivos de  $\epsilon_{\text{Ndt}}$  (promedio +5.8, n=23) y  $\epsilon_{\text{Hft}}$  (+14, n=2) que sugieren un origen a partir de fundidos derivados del manto con poca contaminación. Hacia el noreste, en el área de Calmallí, afloran anfibolitas y paragneises en facies de anfibolita. La geoquímica e isotopía de las anfibolitas sugieren un protolito similar a las rocas metaígneas. Dos paragneises tienen composiciones isotópicas de  $\epsilon_{\text{Srt}}$  (+166),  $\epsilon_{\text{Ndt}}$  (-7) y  $\epsilon_{\text{Hft}}$  (-5 y -7) que sugieren un origen a partir de detritos derivados del continente, como las rocas metasedimentarias del Triásico-Jurásico Medio del NWW de México. La secuencia jurásica fue intrusionada por el plutón Calmallí (105-100 Ma) de composición básica-intermedia con valores de  $\epsilon_{\text{Srt}}$  (promedio -3.6, n=6),  $\epsilon_{\text{Ndt}}$  (promedio +3.3, n=6) y  $\epsilon_{\text{Hft}}$  (promedio +6, n=3) que sugieren un origen a partir de magmas derivados del manto y contaminación. Estas rocas presentan patrones sin empobrecimiento de tierras raras pesadas que sugieren un fraccionamiento en el campo de la estabilidad de la plagioclasa. Los magmas parentales evolucionaron a composiciones intermedias por cristalización fraccionada y asimilación. La cristalización fraccionada produjo rocas con patrones subparalelos de tierras raras y valores similares de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  y  $\epsilon_{\text{Hf}}$ , mientras que la contaminación de magmas produjo rocas con enriquecimiento en tierras raras ligeras y valores menos.

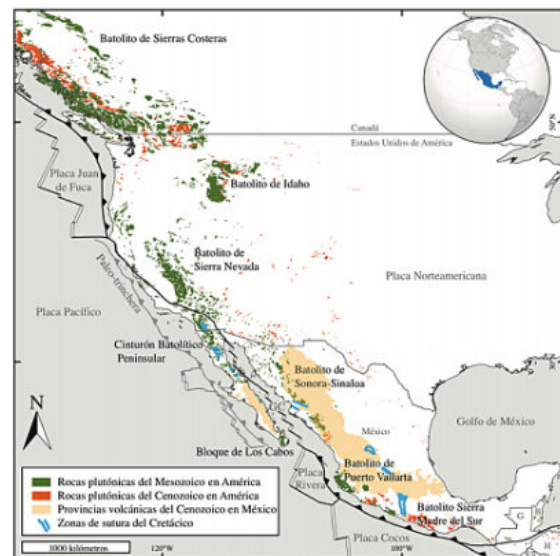


Figura 1. Mapa de los batolitos cordilleranos del occidente de Norte América (modificado de Valencia-Moreno y Ortega-Rivera, 2011). Las zonas de sutura cretácicas en la península de Baja California fueron tomadas de Todd et al. (1988) y Alsleben et al. (2014), mientras que las zonas de sutura de México continental son de Freyrier et al. (2000), Martini et al. (2014) y Sarmiento-Villagrana et al. (2017). Las abreviaturas son B = Belice, ES = El Salvador, G = Guatemala, CG = Golfo de California y H = Honduras.

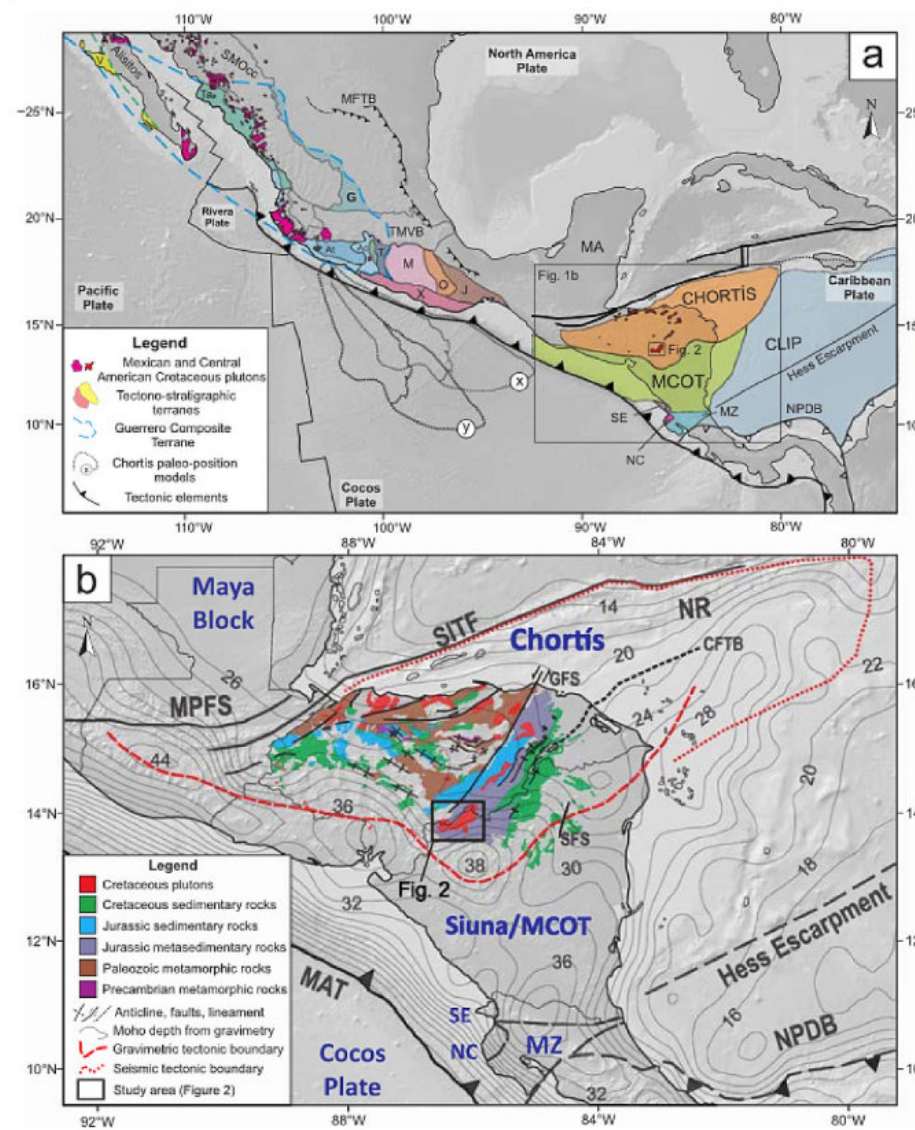
## Paleomagnetism and Geochronology of the Early Cretaceous Dipilto Batholith (NW Nicaragua): Chortís Block Large Rotation With Respect to SW North America

Bernardo I. García-Amador<sup>1</sup>, Luis M. Alva-Valdivia<sup>2</sup>, N. Betania Palacios-García<sup>3</sup>, and Valerie Pompa-Mera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, <sup>2</sup>Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, <sup>3</sup>Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México

#### Abstract

The Dipilto Batholith is one of the largest plutonic complexes (~1,200 km<sup>2</sup>) of the Chortís block. It is located at northwestern Nicaragua in Central America. We present paleomagnetic, rock magnetic, and petrographic results from 34 sites (269 samples) of this batholith and some associated dikes. Four U-Pb (zircon) isotopic ages were obtained from samples collected through the intrusive body in order to gain insight into the timing of silicic magmatism in the southern Chortís block and its possible tectonic and paleogeographic connections with the southwestern North America Plate during the Early Cretaceous. The paleomagnetic analyses of 16 selected sites indicate a large counterclockwise rotation (~101°), with a related paleolatitude of 28.7°N, and isotopic ages ranging from 119.08 ± 0.37 to 112.69 ± 0.44 Ma. Our results imply an updated tectonic model resulted from an inherited peri-Gondwanan position and open the discussion of at least three possible tectonic scenarios for the Chortís block during the Early Cretaceous: (1) Chortís block with an angle of ~45° with respect to the southwestern margin of North America. This would imply the removal of an in-between continental or oceanic crust segment by subduction or subduction erosion; (2) Chortís block immediately juxtaposed to the southwestern margin of North America, being part of extension-compression events of the Guerrero Terrane-Arperos basin; or (3) Chortís block juxtaposed to North America, but with intraplate deformation resulting in overestimated counterclockwise rotation for a tectonic decoupled block, called herein the "Dipilto block."



**Figure 1.** (a) Tectonic and geological frameworks of southwestern Mexico and Central America (based on Andjić et al., 2018; Campa & Coney, 1983; Centeno-García, 2017; Fitz-Díaz et al., 2018; Flores et al., 2015; Rogers, Mann, & Emmet, 2007; Sedlock et al., 1993). In dotted lines, the classical models that position the Chortís block juxtaposed south of Mexico (x) and with a separation angle (y) (Molina-Garza et al., 2018; Rogers, Mann, Scott, & Patino, 2007). (b) Tectonic map and geological units of northern Central America, as well as the geophysical boundary of Chortís block (based on Andjić et al., 2018; Lücke, 2014; Ott, 2015; Rogers, Mann, & Emmet, 2007; Sanchez et al., 2019, 2016). The gray isolines are the Moho depth in kilometers (Lücke, 2014). The abbreviation in figure a) and b) are: V; Vizcaino; SMOcc, Sierra Madre Occidental; MFTB, Mexican Fold and Thrust Belt; G, Guerrero Composite Terrane; At, Arteaga; Ac, Arcelia; Z, Zihuatanejo; T, Teloluapan; Ta, Tahue; M, Mixteco; O, Oaxaca; J, Juárez; X, Xolapa; MA, Maya; MCOT, Mesquito Composite Oceanic Terranes (or Siuna Terrane); CLIP, Caribbean Large Igneous Province; MZ, Manzanillo Terrane; SE, Santa Elena Complex; NC, Nicoya Complex; NPDB, North Panama Deformed Belt; MPFS, Motagua-Polochic Fault System; SITF, Swan Island Transform Fault; NR, Nicaraguan Rise; GFS, Guayape Fault System; CFTB, Colon Fold and Thrust Belt; SFS, Siuna Fault System.

#### Tectonics

RESEARCH ARTICLE 10.1029/2019TC005540



## Regional subsurface mapping and 3D flexural modeling of the obliquely converging Putumayo foreland basin, southern Colombia

Luis Fernando Pachón-Parra<sup>1</sup>, Paul Mann<sup>2</sup>, and Nestor Cardozo<sup>3</sup>

### Abstract

<https://library.seg.org/doi/10.1190/INT-2020-0021.1>

The Putumayo foreland basin (PFB) is an underexplored hydrocarbon-bearing basin located in southernmost Colombia. The PFB forms a 250 km long segment of the 7000 km long corridor of Late Cretaceous-Cenozoic foreland basins produced by eastward thrusting of the Andean mountain chain over Precambrian rocks of the South American craton. We have used approximately 4000 km of 2D seismic data tied to 28 exploratory wells to describe the basin-wide structure and stratigraphy. Based on seismic interpretation and comparison with published works from the southward continuation of the PFB into Peru and Ecuador, three main across strike, structural zones include (1) the 20 km wide, western structural zone closest to the Andean mountain front characterized by inversion of older, Jurassic half-grabens during the Late Miocene, (2) the 45 km wide, central structural zone characterized by moderately inverted Jurassic half-grabens, and (3) the 120 km wide, eastern structural zone (ESZ) characterized by the 40 km wide, north-south-trending Caquetá arch. The five mainly clastic tectonosequences of the PFB include (1) Lower Cretaceous pre-foreland basin deposits, (2) upper Cretaceous-Paleocene foreland basin deposits, (3) Eocene foreland basin deposits related to the early uplift of the eastern Cordillera, (4) Oligocene-Miocene underfilled, foreland basin deposits, and (5) Plio-Pleistocene overfilled, foreland basin deposits. We used 3D flexural modeling to identify the elastic thickness ( $T_e$ ) of the lithosphere below the PFB, and to model the location of the sedimentary-related and tectonically related fore-bulges of Cretaceous to Oligocene age. Flexural analysis finds two pulses of rapid, foreland-related subsidence first during the Late Cretaceous-early Paleocene and later during the Oligocene-Miocene. Despite the present-day oblique thrusting of the mountain front, flexure of the PFB basement has produced a tectonic forebulge now located in ESZ and controls a basement high that forms the eastern updip limit for most hydrocarbons found in the PFB.

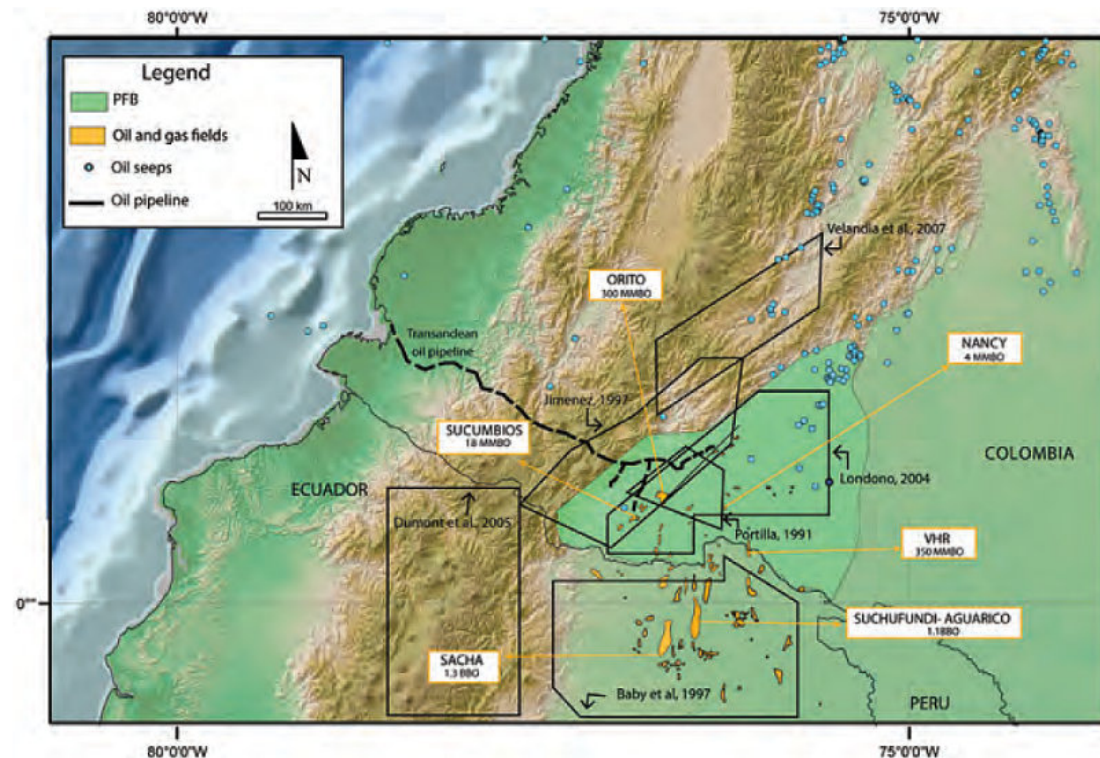


Figure 2. Regional topographic map showing the main producing oil and gas fields and their infrastructure and pipelines, along with the cumulative production of the PFB of Colombia, the Oriente foreland basin of Ecuador, and the Marañón basin of Peru (modified from ANH, 2012). The locations of relevant, previous subsurface and surface studies of the PFB are shown as polygons with the authors labeled.

<sup>1</sup>Formerly University of Houston, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Houston, Texas 77204-5007, USA; presently GeoPark, Bogota 110221, Colombia. E-mail: lfpachonpsan@gmail.com.

<sup>2</sup>University of Houston, Department of Earth and Atmospheric Sciences, Houston, Texas 77204-5007, USA. E-mail: pmann@uh.edu (corresponding author).

<sup>3</sup>University of Stavanger, Department of Energy Resources, Norway. E-mail: nestor.cardozo@uis.no.

## The Juchatengo complex: an upper-level ophiolite assemblage of late Paleozoic age in Oaxaca, southern Mexico

J. M. Grajales-Nishimura, M. Ramos-Arias, +4 authors Ricardo Torres-Vargas

Published 2018: Geology: International Journal of Earth Sciences

### Abstract

The Juchatengo complex (JC) suite is located between the Proterozoic Oaxacan complex to the north and the Xolapa complex to the south, and was amalgamated by late Paleozoic magmatism. It consists of mafic and sedimentary rocks that have oceanic affinities, with internal pseudostratigraphic, structural and metamorphic characteristics, which resemble a typical upper-level ophiolite assemblage. New U–Pb zircon and previous hornblende K–Ar analyses yield ages of ca. 291–313 Ma (U–Pb) for plagiogranites and ca. 282–277 Ma for tonalites intruding the entire sequence, including pelagic sediments at the top, with a maximum deposition age of ca. 278 Ma and noteworthy local provenance. These data constrain the age of the JC to the Late Pennsylvanian–Early Permian period. Hf isotopic analyses obtained from zircons in the JC plagiogranite and tonalite show that they come from a similar primitive mantle source ( $176\text{Hf}/177\text{Hf}$ : 0.282539–0.283091;  $\epsilon\text{Hf}(t)$ : +3.2 to +15.0).  $\epsilon\text{Hf}(t)$  values from near 0 to –2.8 in the tonalites indicate a contribution from the continental crust. Trace elements and REE patterns in whole rock and zircons point to a primitive mantle source for differentiated mafic, plagiogranite dykes and tonalitic plutons. Geochronological and geochemical data address the generation of new oceanic crust above the subduction zone, probably in a backarc setting. In this tectonic scenario, the JC ophiolite originated due to the convergence of the paleo-Pacific plate below the already integrated Oaxacan and Acatlán complexes in western Pangea. The dextral displacement places the deformation in a transtensional regime during the late Paleozoic age.

International Journal of Earth Sciences (2018) 107:1005–1031 [hhttps://doi.org/10.1007/s00531-017-1580-8](https://doi.org/10.1007/s00531-017-1580-8)

José Manuel Grajales-Nishimura  
manuel.grajales459@gmail.com  
1 Departamento de Geología Regional, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 Mexico City, Mexico

2 Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, 76001 Querétaro, QRO, Mexico

3 Dirección de Exploración y Producción, Instituto Mexicano del Petróleo, Delegación Gustavo A. Madero, 07730 Mexico City, Mexico

4 Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 Mexico City, Mexico

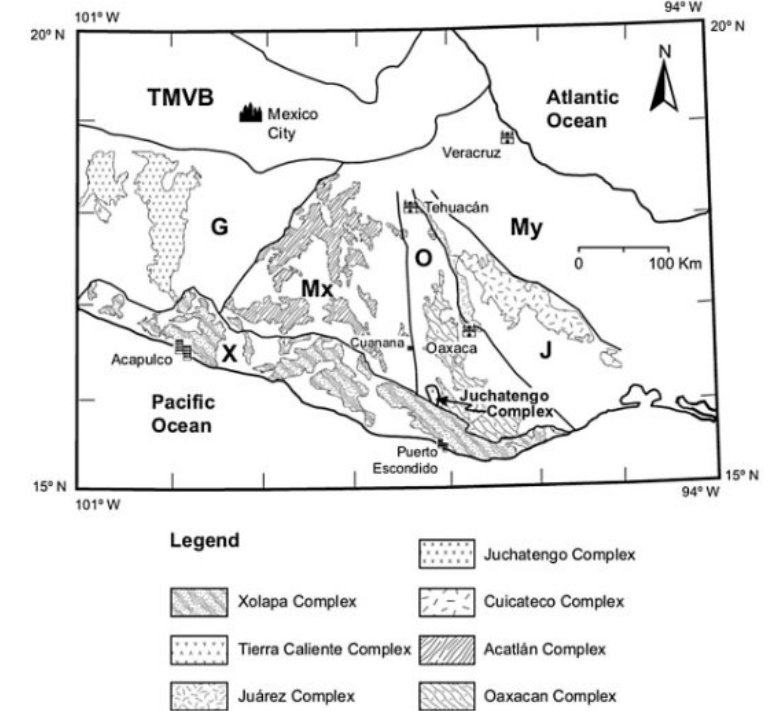
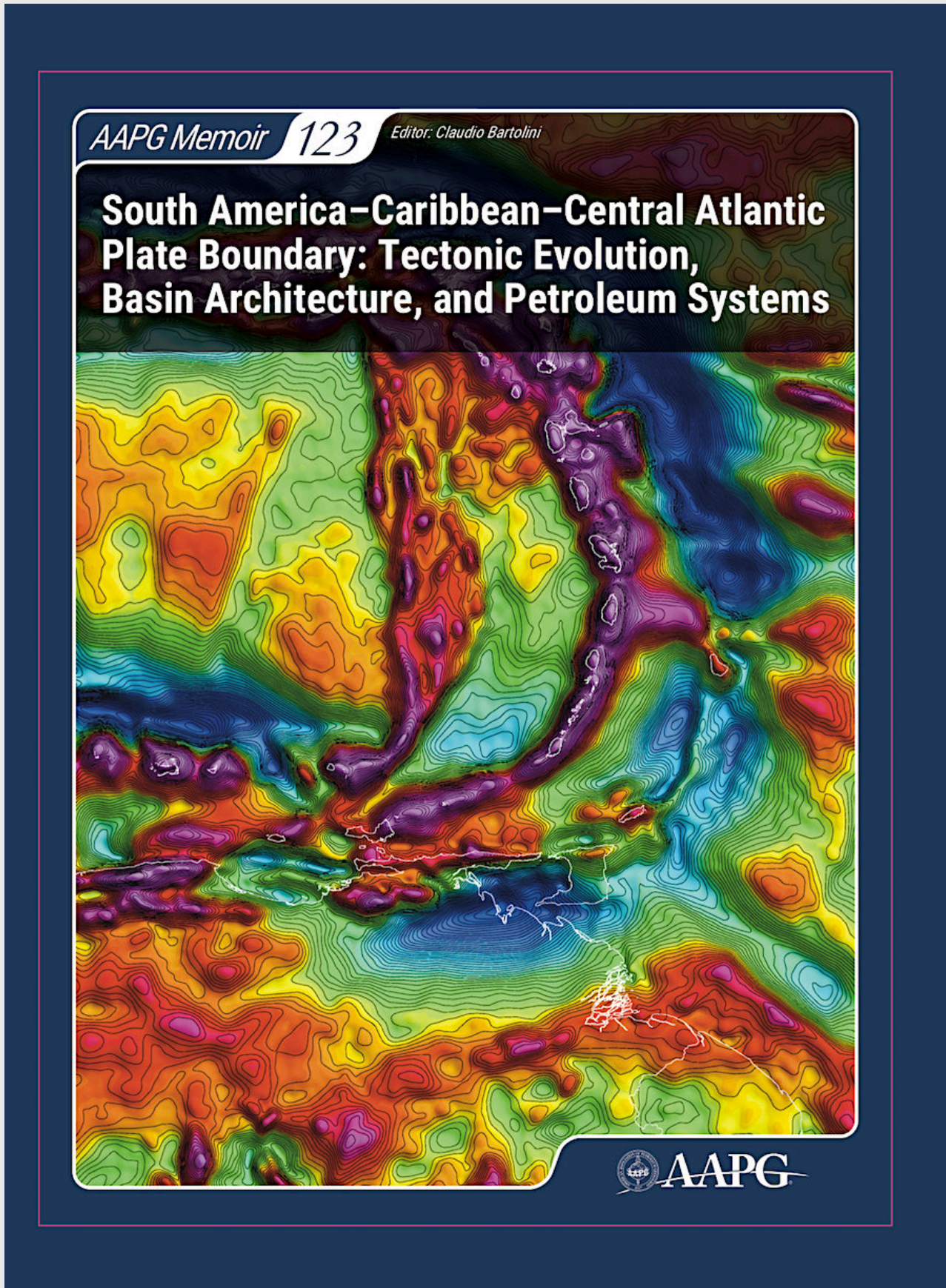


Fig. 1. Location of the Juchatengo complex with respect to the nearby metamorphic complexes and the tectonostratigraphic terranes subdivision (modified after Ortega-Gutiérrez 1981; Campa and Coney 1983). X Xolapa terrane, G Guerrero terrane, Mx Mixteca terrane, O Oaxaca terrane, J Juárez terrane, My Maya terrane

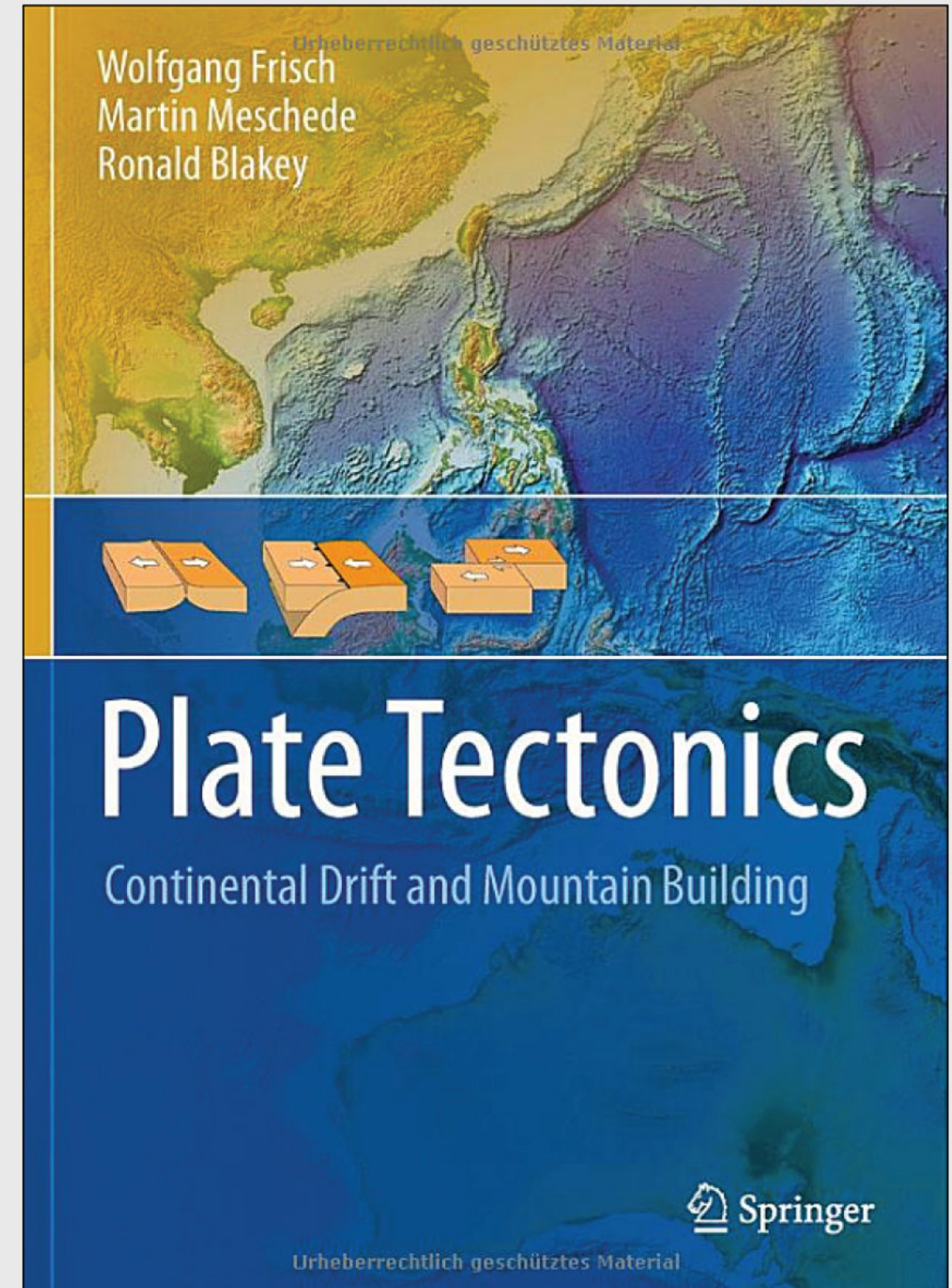


**Nuevo libro de la AAPG en septiembre.**  
**Editor: Claudio Bartolini**



## El libro recomendado

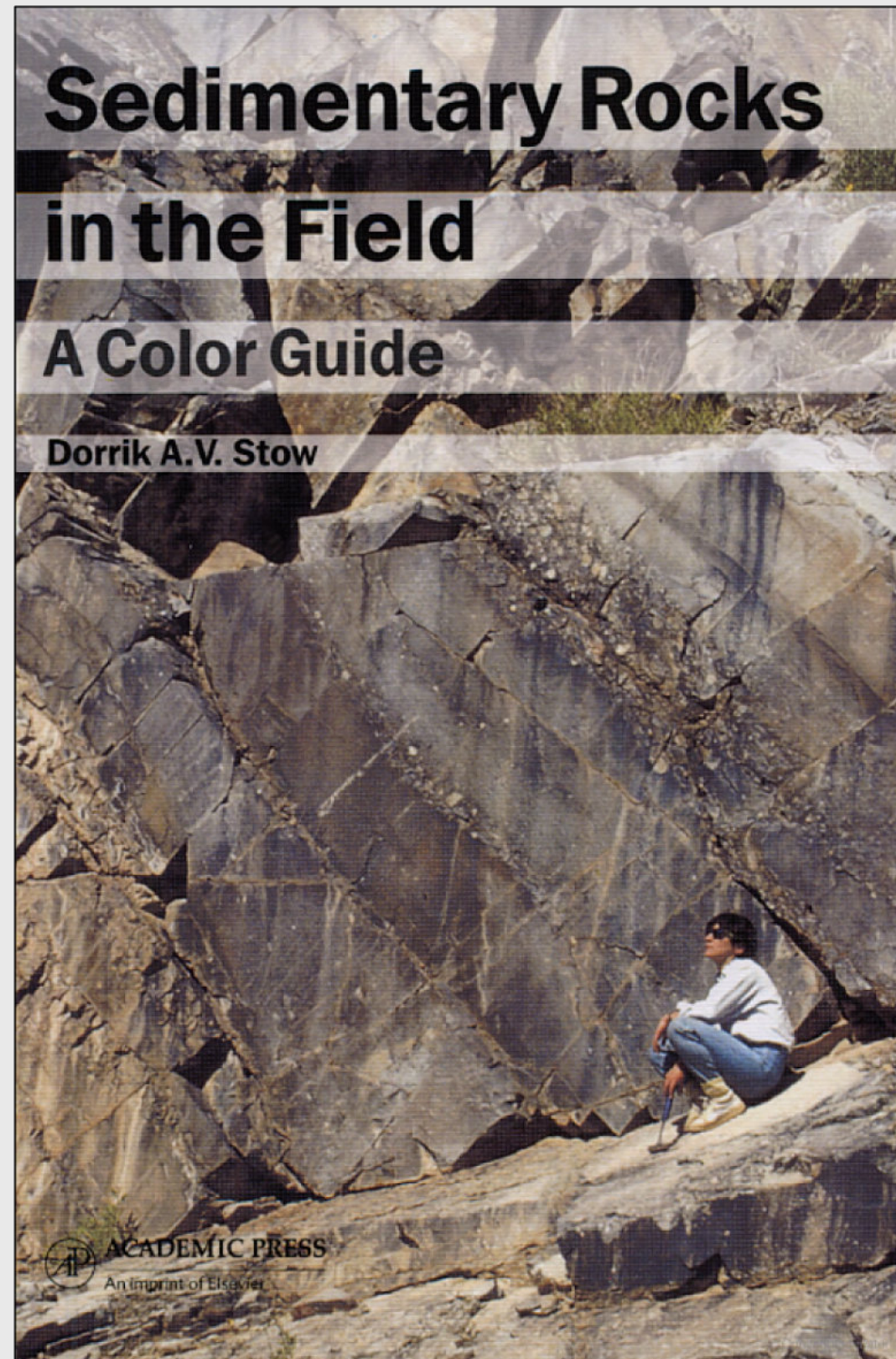
<https://www.springer.com/gp/book/9783540765035>





## El libro recomendado

<https://www.routledge.com/Sedimentary-Rocks-in-the-Field-A-Colour-Guide/Stow/p/book/9781874545699>



# FUNDADORES DE LA GEOLOGÍA MODERNA

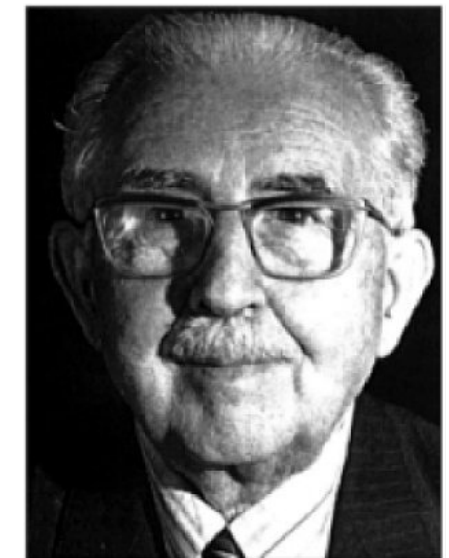
## André Cailleux: (1907-1986)

**André de Cayeux de Sénarpont** o como es mayormente reconocido André Cailleux nació en París, Francia el 24 de diciembre de 1907 y pereció de un infarto al corazón el 27 de diciembre de 1986 en Pornic, Francia. Es reconocido por la comunidad geológica por ser uno de los sedimentólogos y geomorfólogos más emblemáticos del siglo XX, además de realizar valiosas aportaciones a la paleoclimatología, geología glacial y prehistoria.

André recibió su título de licenciatura en ciencias física en 1932. Durante el periodo de ocupación inicial de la Segunda Guerra Mundial, pedaleaba con su bicicleta a un día de distancia a la ciudad de Saint-Maur, Francia para visitar todas las canteras de arena pertenecientes a esa parte de la cuenca de París, recolectando pequeñas muestras de arena, las cuales estudio durante largas jornadas con su microscopio polarizador consiguiendo como resultado una tesis doctoral única y notable en 1942 en la cual reconoce con base granulométrica y textural como discriminar las tres formas genéticas de las arenas: erosión fluvial, eólica e intemperismo lo que en futuro adquirió un nombre más sofisticado como el "índice de cailleux" (Figure 1) herramienta útil en estudios granulométricos. Sus estudios en geología y la geografía física han formado la base de cientos de trabajos publicados, por él mismo y otros.

El índice de redondez de Cailleux ( R ) mide el radio de curvatura ( r ) de la esquina más aguda de una partícula en relación con su dimensión más larga o eje largo ( l ) usando la fórmula:  $R=(2r/l) \times 1000$ .

Desde 1934 hasta 1956 André enseñó en los liceos de Varsovia, Brest y Saint-Maur, Francia. Posteriormente, enseñó en la Sorbona durante once años, impartiendo cursos de geología, sedimentología, física y química. En



1968, se trasladó a la Universidad Laval en Quebec y posteriormente enseñó en el Instituto de Tecnología de California y las Universidades de Río de Janeiro, Sherbrook y Montreal.

Al principio de su carrera, el interés particular de André en la aplicación de las matemáticas a sus campos de estudio, especialmente el de la geología planetaria, siendo la razón que lo condujo al Observatorio del Sistema Solar de París Meudon, dirigido por el astrónomo Audoin Dollfus. A través de esta y muchas otras asociaciones, estudió la geomorfología y la física de la Luna, Marte y otros planetas escribiendo veinte libros de trabajo sobre diversos aspectos de las ciencias de la tierra, geografía y geología planetaria.

Sus estudios de geología terrestre abarcaron todo el mundo: participó en misiones a América, Groenlandia, Polonia, Guyana y Mauritania, así como al Sahara y la Antártida. En 1960, André representó al gobierno francés en una expedición polar estadounidense a la Antártida. Realizó conferencias científicas en 20 países extranjeros.



### Diagrama de caja para el índice de redondez de Cailleux

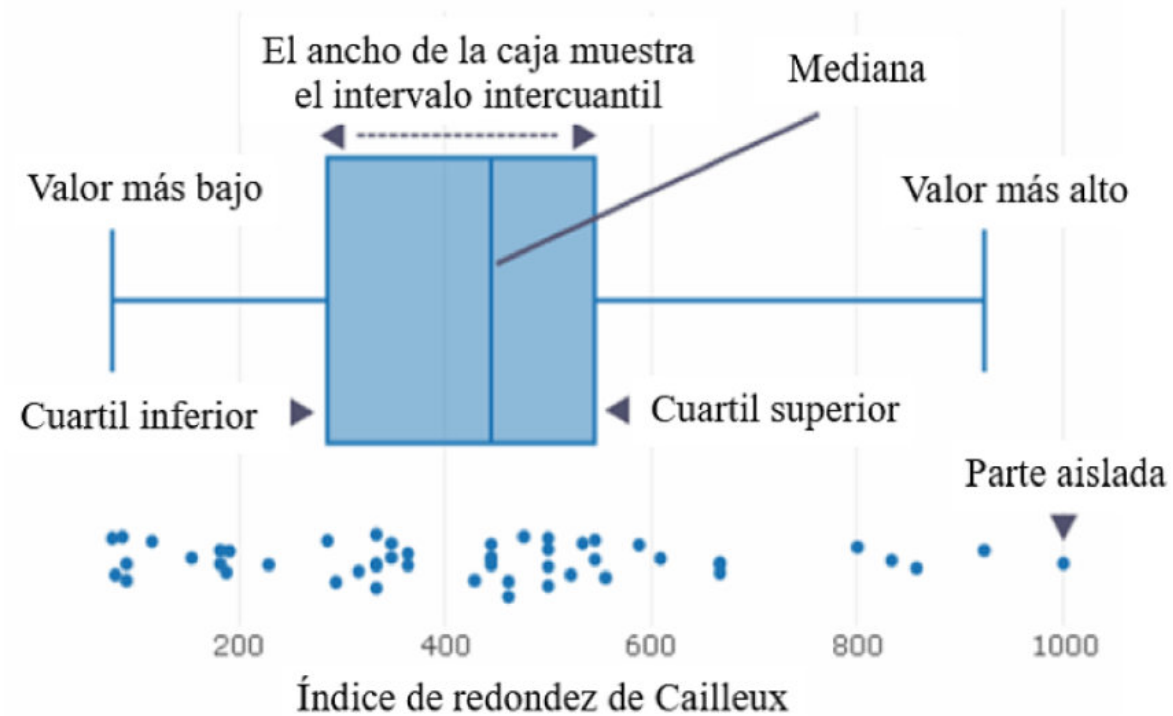


Figura 1: Índice de redondez de Cailleux modificada de: (Barcelona Field Studies Center).

Durante muchos años, André dirigió el programa de formación de pregrado en la Sorbona. Después de su retiro de la Sorbona, jugó un papel decisivo en la construcción del programa de enseñanza geológica en la región francófona de Canadá.

Las asociaciones profesionales en las que André fue miembro son muchas. Miembro de la Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, la Academia Nacional de Geografía de Argentina y sociedades científicas en Baviera y Polonia, así como en su Francia natal. Fundó la Revue de Géomorphologie Dynamique con J. Tricart en 1950. Editó Zeitschrift für Géomorphologie en Berlín, 1957 y Annales de Géographie en París, 1963. Como experto en morfología periglacial, participó activamente en la Sociedad Francesa de Geoquímica en 1961 y en la Unión Internacional de Investigaciones Cuaternarias en 1979. André recibió muchos honores y premios, entre ellos la Croix de Guerre en 1940, el Caballero de la Legión de Honor 1952, el Caballero del Mérito para la enseñanza agrícola en 1952, la medalla de reconocimiento francesa en 1953 y una medalla por la educación física de las expediciones polares francesas en las que jugó un papel tan importante.

Durante su vida, André publicó 390 trabajos científicos, sobre geomorfología, oceanografía, hidrología, glaciología, petrografía, mineralogía, geografía, paleontología e historia. Algunas de estas obras se incluyen en la siguiente lista.

#### Bibliografía seleccionada de André Cailleux

- 1953, Biogéographie mondiale, 3ème édition, 126 p.
- 1958, (with Plaisance, G.) Dictionnaire des sols: Paris, La Maison Rustique, 604 p.
- 1959, Trente millions de siècles de vie: Paris, Editions André Bonne, 316 p. (English translation, New York, Stein and Day, 1969).
- 1961, Histoire de la géologie, in the collection Que sais-je?, no. 962: Paris, Presses Universitaires de France, 128 p.
- 1965, Eléments de géologie en six langues: Paris, Société de l'Éditions Enseignement Supérieur, 191 p.
- 1967, L'Antarctique, in the collection Que sais-je?, no. 1249: Paris, Presses Universitaires de France, 128 p.
- 1968, Anatomy of the Earth: New York-Toronto, McGraw-Hill Book Company, 251 p. Les roches, in the collection Que sais-je?, no. 519: Paris, Presses Universitaires de France, 128 p.
- 1969, La science de la terre, in Encyclopédie géographique:

Paris, Bordas, 799 p. Three billion years of life: New York, Stein and Day, 239 p.

1971 Seneka und der geist der wissenschaft: Geologie (Berlin), v. 20, p. 758-764.

1977 Satellites, planètes, Terre; géomorphologie comparée: Bulletin de l'Association de Géographes Français, v. 54, p. 185-194 (with English summary).

1978 La Terre et son histoire, in the collection Que sais-je?:

Vendôme, France, Presses Universitaires de France, 128 p.

1980 Chronique planétologique [an annotated bibliography of planetology]: Cahiers Géologiques, no. 96, p. 324-333.

1981 (with Komom, J.) Dictionary of scientific roots of words: Paris, Presses Universitaires de France, 263 p

#### Fuentes

Deschamps, M. (s/n). Memorial to André Cailleux. Agosto 9, 2021, de Geological Society of America Sitio web: <https://www.geosociety.org/documents/gsa/memorials/v19/Cailleux-A.pdf>

Barcelona Field Studies Center. (S/n). Calculadora de índice de redondez de Cailleux con análisis de diagrama de caja. Agosto 9, 2021, de GeographyFieldwork.com Sitio web: <https://geographyfieldwork.com/CailleuxRoundnessIndex.html#:~:text=Roundness%20values%20lie%20between%200,the%20more%20angular%20the%20pebble.>

#### Familia de André de Cayeux de Sénarport





# PIONEROS DE LA PALEONTOLOGÍA

## Edward Drinker Cope: (1840-1897)

**Edward Drinker Cope** studied fossils, evolution, and reptiles in the late nineteenth century United States. Based on his observations of skeletons, Cope proposed a novel mechanism to explain the law of parallelism or "ontogeny recapitulates phylogeny", the idea that developing organisms successively pass through stages resembling their ancestors.

Cope was born 28 July 1840 in Philadelphia, Pennsylvania, the first of three children. His father, Alfred Cope, was the son of Thomas Pim Cope, a wealthy merchant. Alfred continued the financial prosperity of the Cope family. Edward's mother died when he was three, after which his aunt helped raise the children just outside of Philadelphia where he had access to the museum at the Academy of Natural Sciences, which offered courses for students in the School District of Philadelphia.

Cope aspired to a scientific profession but at his father's direction, from 1856 to 1860, Cope mastered farming skills by working at home and on the farms of relatives. Farm life further ignited Cope's interest in natural history and he used his free time to study local wildlife. He published his first scientific paper, on salamanders, in 1859 at the age of nineteen. In 1860 Cope attended the comparative anatomy course led by Joseph Leidy, a paleontologist and anatomist at the University of Pennsylvania. Cope spent part of the next two years working under Leidy. He also began recataloguing the collection of reptiles and amphibians at the Academy of Natural Sciences, which led him to examine the collection at the Smithsonian Institution in Washington D.C. with natural historian Spencer Fullerton Baird.

In 1863 Cope's father sent him on a trip to Europe where, he continued his informal training in biology. He met with leading anatomists, naturalists, and paleontologists and visited the advanced museums and institutions of the time. During his study abroad, Cope, as with many scientific scholars of the time, worried that his pursuit of science might conflict with some aspects of his religious



beliefs leading him to destroy many of his own scientific illustrations before he left Europe.

After returning to the US, Cope continued his scientific career as professor of zoology at Haverford College, in Haverford, Pennsylvania. He received an honorary master's degree from Haverford in 1864 before beginning his zoology department appointment, which he held a little more than two years. During his time at Haverford, Cope began taking geology trips throughout the eastern US. On these initial trips he collected vertebrate fossils wherever he found them. In light of the running conflict of various theories of evolutionary processes, including those proposed by Lamarck, Haeckel, and Darwin, Cope felt that enhancing the fossil record was a vital step to understanding evolution. Cope's conflict between scientific process and religious belief remained a major theme in his thoughts, as he supported both adaptive and divine influences on evolution. Cope believed that any large-scale changes in organismal body structure were preordained, yet he accepted that adaptation played a role on a smaller scale. In his 1868 paper "On the Origin of Genera", Cope discussed God's influences on acceleration and retardation, Cope's proposed mechanisms for the law of parallelism.

Cope continued to collect and describe fossil specimens during the 1860s. His quest to describe hundreds of vertebrate fossils spurred competition with Marsh. In the late 1860s Cope and Marsh's relationship became strained. According to Cope, Marsh had unjustly exploited a fossil site that Cope had shown him, and over the following decades their initial clash developed into an acrid scientific battle. That feud became the backdrop to most of Cope's adult life.

Cope and Marsh raced to outdo one another in contributions to paleontology, and each person complained about the practices of the other. The allegations included poor scientific process, plagiarism, and unfair appropriation of both land and bones. For years, Cope claimed, Marsh used his political savvy and strong scientific network to delay Cope's publications as well as to prohibit his access to specific lands and to various private bone collections. Cope also accused Marsh of plagiarizing most of Cope's publications and ideas. In the 1870s the competition between Cope and Marsh increased, as both men vied to be first to describe mammalian fossils from fossil beds in Wyoming. One would, at times, be describing a fossil just hours before the other would discover a similar specimen. Thus, the rush for initial description of new specimens was often intense.

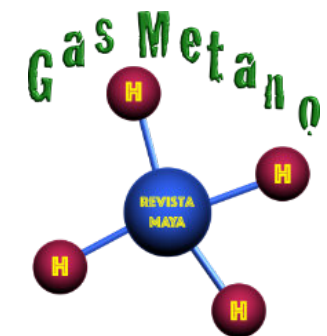
In 1879 Marsh became director of the new USGS survey, and Cope, who had been partially funded under the absorbed surveys, was unable to acquire funding for his field collection trips. In the same year, Cope lost a quarter of a million dollars inheritance after making bad investments in the mining industry and he could no longer fund his own fossil-collecting. Unemployment and financial problems did not deter Cope's scientific productivity, and in his free time he wrote descriptive papers on many of the fossils in his collection. In 1889, after ten years of struggling for funding and employment, Cope acquired an appointment at the University of Pennsylvania as a professor of mineralogy and geology. Soon after, in January of 1890, the Cope-Marsh clash became public when both parties aired their criticisms in the New York Herald. The fallout from this public battle for

superiority almost lost Cope his university position. He soon, however, gained an appointment with the Texas Geological Survey in 1892, was promoted by the University of Pennsylvania to the chair of zoology and comparative anatomy in 1895, and received various honors and awards, including the position of president of the American Association for the Advancement of Science in 1895.

Cope continued to publish on evolutionary theory, and as he aged he increasingly believed that Lamarckian mechanisms were responsible for evolution. His defense of acquired inheritance continued through his final publication in 1896 "The Primary Factors of Organic Evolution". Despite his support of the adaptive influence of the environment, until his death, Cope maintained that a divine force was ultimately responsible for directing evolution.

Cope died 12 April 1897, in Philadelphia. In 1931, a former colleague of Cope, Henry Fairfield Osborn published Cope: Master Naturalist, an extensive collection of the letters Cope had written throughout his life, starting at age six and ending two weeks before his death. Over the course of his lifetime, Cope described more than 1200 vertebrate species, fifty-six of which were dinosaurs. His contributions to the study of reptiles and amphibians helped found the discipline of herpetology, and Copeia, the journal of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists, is named after him.

Source: Moeller, Karla T., "Edward Drinker Cope (1840-1897)". Embryo Project Encyclopedia (2012-01-01). ISSN: 1940-5030 <http://embryo.asu.edu/handle/10776/2324>.

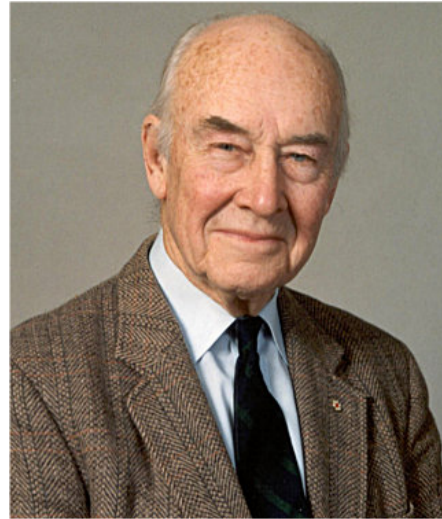




# PLATE TECTONICS CONTRIBUTORS

## J. Tuzo Wilson: (1908 - 1993)

**J. Tuzo Wilson**, a Canadian geophysicist, was born in Ottawa, Canada, Oct. 24, 1908. His mother Henrietta, famous in her own right, was the first to climb the 7th peak in the Valley of Ten Peaks in the Canadian Rockies, a summit later named Tuzo Mountain. His father, fascinated with airplanes, was charged with developing civil aviation in Canada. Tuzo got his love of the outdoors and hiking from his mother, both requirements for extensive geological surveying. Influenced by his father, he was one of the first to use airplanes to conduct efficiently huge geological surveys – some of his contemporaries thought it was cheating. Graduating from the University of Toronto in 1930, he obtained a second undergraduate degree in geophysics at the University of Cambridge, where he took a class from the mathematical geophysicist Sir Harold Jeffreys, a leading opponent of continental drift. Leaving Cambridge, he secured his PhD in geology at Princeton University. He then took a position with the Geological Survey of Canada in 1926, and remained there for a decade before becoming a professor of geophysics in the physics department at the University of Toronto.

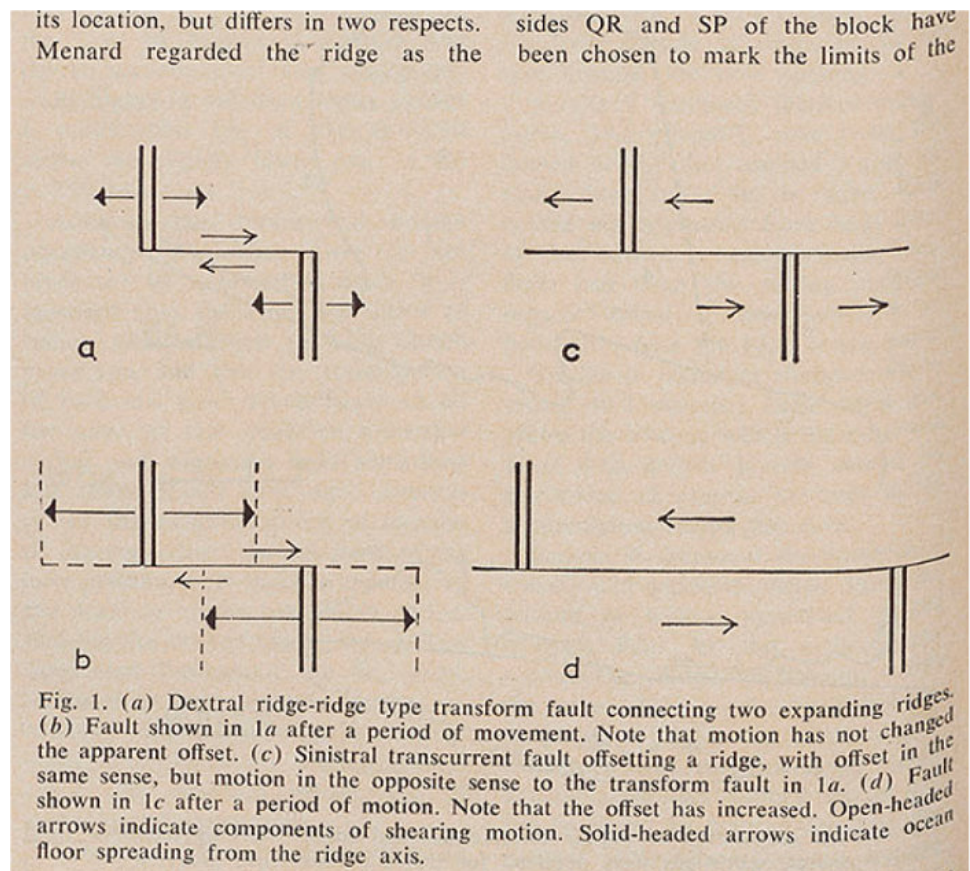


Throughout much of his career Wilson championed the gradual contraction of a cooling Earth as the working mechanism for mountain building, and he rejected the idea of continental drift as proposed by Alfred Wegener in 1915. Mapping much of the Canadian Shield and surrounding mountain belts, Wilson argued that the shield itself had existed since North America had formed, and that mountain belts had subsequently formed through the squeezing and upward movement of sediments that had collected in geosynclines along the periphery of the ancient shield. This process of mountain building continued, with ever younger mountain belts forming along the periphery of the growing continent. He argued that continental drift was not only unneeded to explain the geology of North America, but was unable to explain the stability of the Canadian Shield and the distribution of its surrounding mountains. A strict uniformitarian, Wilson

also objected to the idea that continental drift had occurred only once, as Wegener had proposed.

Wilson was not unfamiliar with the strong support for mobilism (drift) found in the Southern Hemisphere. On a trip to South Africa in 1950, he saw evidence in support of continental drift, but Wilson remained completely unconvinced. Wilson also rejected the paleomagnetic support for continental drift developed during the 1950s based on the divergence of apparent polar wander paths, and the fact that paleomagnetically determined ancient latitudes of the continents more or less agreed with those determined paleoclimatically by Wegener and Köppen.

Wilson's views began to change in 1960, when he briefly adopted Earth expansion, and combined it with his geosynclinal account of mountain-building. A year later, he jettisoned Earth expansion for seafloor spreading. In 1960, Harry Hess had first proposed seafloor spreading, which required continental drift. Wilson began to take seafloor spreading seriously after reading Robert Dietz's 1961 paper in which he presented his own version of seafloor spreading. Why did Wilson change his mind? Partly because he realized that he could not explain the origin of the worldwide system of mid-ocean ridges with fixed continents. He also realized that the paleomagnetic support for mobilism was correct.



Source: Henry Frankel is Professor Emeritus of Philosophy at the University of Missouri-Kansas City, and author of *The Continental Drift Controversy* (Cambridge University Press, 2012).

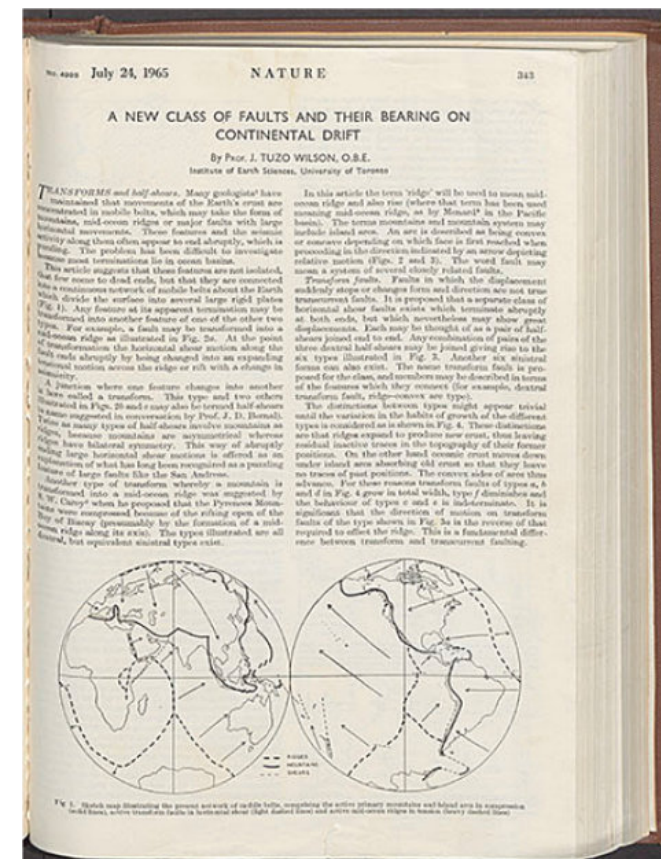


Diagram of transform faults (single horizontal lines) connecting oceanic ridges (vertical double lines), from Tuzo Wilson's paper in *Science*, 1965 (Linda Hall Library)



Wilson then thought about what should be expected if seafloor spreading occurs. For instance, he reasoned that several Pacific island chains, the Hawaiian Islands being his best example, whose individual islands increase in age as their distance from the East Pacific Rise increases, could have formed by upwelling basalt arising from hypothesized fixed hot spots as seafloor moved over them. But his most important deduction from seafloor spreading was his hypothesis (1965) of a new class of faults, which he called transform faults. He also proposed an empirical test for their existence. He used the figure (first image) to introduce the idea of ridge-ridge transform faults, and how their existence can be tested.

Mid-ocean ridges are made up of small segments offset from one another. They are represented as double

vertical lines. The horizontal line in each figure represents the fault between ridge offsets. Arrows show the predicted movement with seafloor spreading (a and b) and without seafloor spreading (c and d). In addition, if seafloor spreading occurs, the seafloor moves in opposite directions along the fault only between ridge offsets; if seafloor spreading does not occur, opposing movements occur along the entire fault beyond ridge segments. Both differences were testable. In 1967, Lynn Sykes, a seismologist at the then Lamont Doherty Geological Observatory at Columbia University, found that earthquakes along faults occur only between ridge offsets, and that the direction of motion is what should be expected, if ridge-ridge transform faults exist.

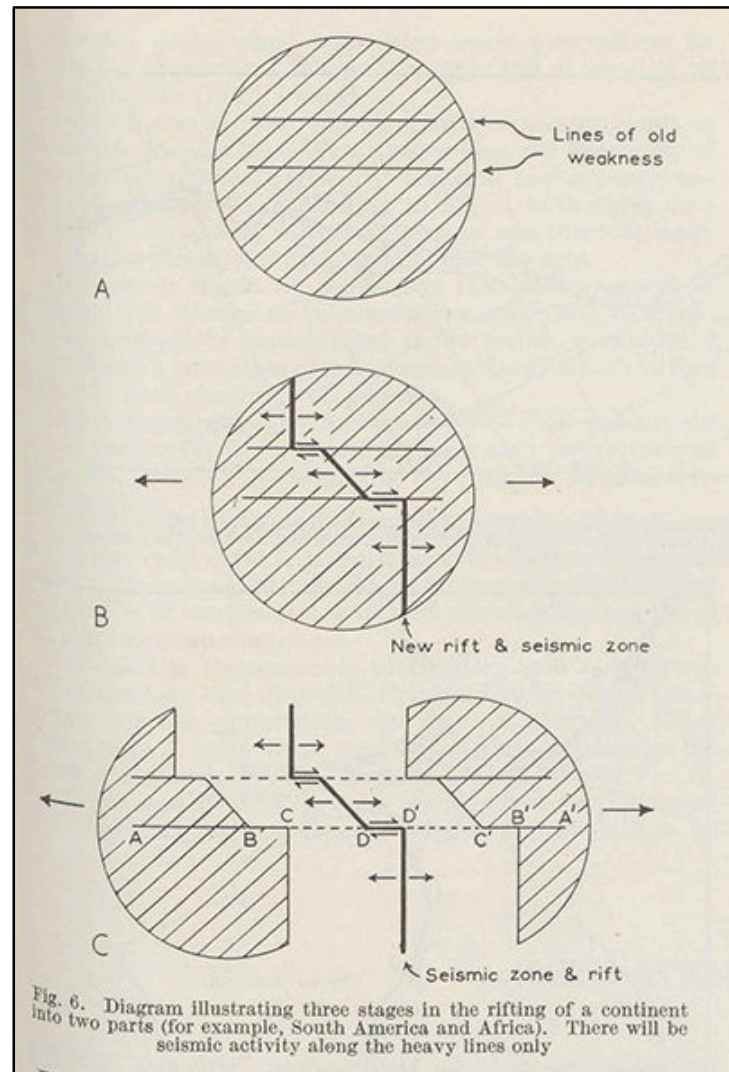
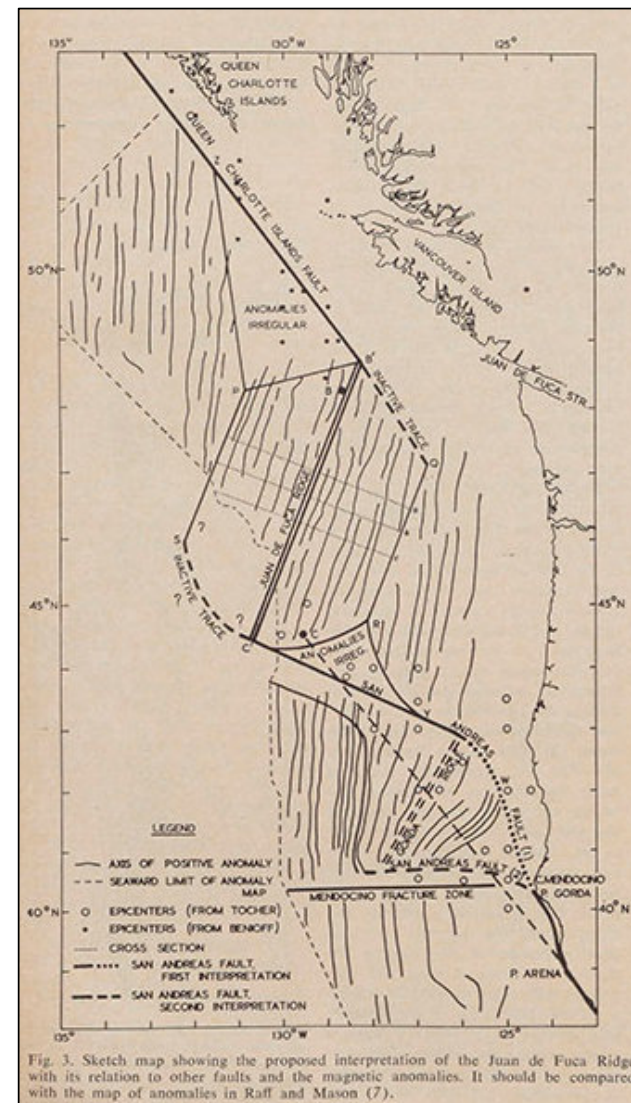


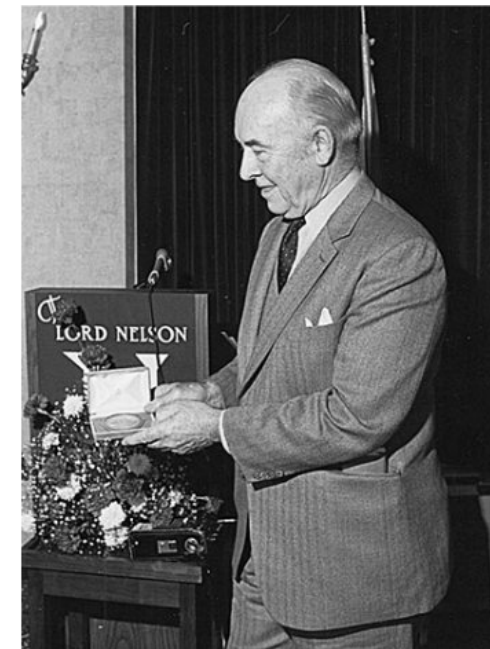
Diagram illustrating three stages in the rifting of a continent, from Wilson's paper in *Nature* 1965 (Linda Hall Library)



Map of the Juan de Fuca ridge off the coast of Washington state, showing the ridge as a double line and the transform faults at an angle; the fault running southeast from the ridge, shown twice as a dashed or dotted line, is the San Andreas fault. From Wilson's paper in *Science*, 1965 (Linda Hall Library)

Tuzo Wilson also claimed that Earth's surface was made up of rigid plates. Indeed, he was close to proposing what became known as plate tectonics. However, he did not quite get there. Wilson did not apply his ideas to a spherical surface, and therefore, did not connect the idea of plate movements to Euler's Point Theorem, which forms the mathematical basis of plate tectonics. According to Euler's point theorem, the movement of a point (or ridge block) can be analyzed as the rotation of the point (rigid block) around a fixed pole, called an Euler pole. Perhaps Wilson was unfamiliar Euler's theorem or failed to appreciate its importance. By own admission, mathematics was not one of his strengths.

Wilson's proposal of transform faults was presented in two papers in 1965, one in *Nature*, one in *Science*. Our images come from both of those papers. The photograph shows Wilson receiving the A.G. Huntsman Award for excellence in the marine sciences in 1981.



Tuzo Wilson accepting the A.G. Huntsman Award for Excellence in Marine Science in 1981 (Bedford Institute of Oceanography)



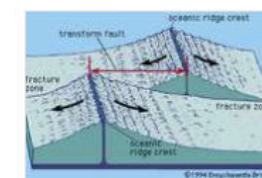
**plate tectonics: Wilson cycle**

...was once again provided by Tuzo Wilson in 1966, when he proposed that the Appalachian-Caledonide mountain belt of western Europe and eastern North America was formed by the destruction of a Paleozoic ocean that predated the Atlantic...



**plate tectonics: Hess's seafloor-spreading model**

...transform faults by Canadian geophysicist **J. Tuzo Wilson**. Wilson argued that the offset between two ridge crest segments is present at the outset of seafloor spreading. As each ridge segment generates new crust that moves laterally away from the...



**transform fault**

...the Canadian geologist and geophysicist **J. Tuzo Wilson** recognized the seismic nature of transform faults and other features and explained the phenomenon as a transfer of motion from one spreading centre to another....



# TEMAS DE INTERÉS

## ¿Qué es la energía solar?

El término energía solar se refiere al aprovechamiento de la energía que proviene del sol, se trata de una fuente de energía renovable la cual se considera inagotable a escala humana, este tipo de energía renovable se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética, aunque no toda la energía solar llega a la tierra. Una vez que atraviesa la atmósfera, la radiación pierde intensidad debido a la absorción, la difusión y la reflexión de los gases y las partículas suspendidas en la atmósfera y, posteriormente, puede ser aprovechada. La energía solar se puede aprovechar en forma de energía térmica o energía eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. Cuando se trata de energía térmica obtenemos calor para calentar un fluido.

El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar. Los paneles solares pueden ser de distintos tipos dependiendo del mecanismo elegido para el aprovechamiento de la energía solar:

- Mediante paneles solares fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica)
- Mediante captadores solares térmicos (energía solar térmica)
- Sin ningún elemento externo (energía solar pasiva)

### ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica que luego se transporta hasta la red de distribución para llegar hasta los puntos de consumo. Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18 % y un 20 % de la media. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones

(eficiencia media de entre un 8 % y un 9 %), pero también un precio menor.

### Tipos de plantas fotovoltaicas

Hay dos tipos de plantas fotovoltaicas: las que están conectadas a la red y las que no. Dentro de las primeras existen, a su vez, otras dos clases:

- Central fotovoltaica: toda la energía producida por los paneles se vierte a la red eléctrica.
- Generador con autoconsumo: parte de la electricidad generada es consumida por el propio productor (en una vivienda, por ejemplo) y el resto se vierte a la red. Al mismo tiempo, el productor toma de la red la energía necesaria para cubrir su demanda cuando la unidad no le suministra la suficiente.

Estas instalaciones con conexión a la red cuentan con tres elementos básicos:

- Paneles fotovoltaicos: se trata de grupos de celdas fotovoltaicas montadas entre capas de silicio que captan la radiación solar y transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).
- Inversores: convierten la corriente eléctrica continua que producen los paneles en corriente alterna, apta para el consumo.
- Transformadores: la corriente alterna generada por los inversores es de baja tensión (380-800 V), por lo que se utiliza un transformador para elevarla a media tensión (hasta 36 kV).

Por su parte, las instalaciones no conectadas a la red operan de forma aislada y suelen encontrarse en lugares remotos y explotaciones agrícolas para satisfacer demandas de iluminación, servir de apoyo a las telecomunicaciones y bombear los sistemas de riego. Estas plantas aisladas requieren dos elementos adicionales para funcionar:

- Baterías: encargadas de almacenar la energía producida por los paneles y no demandada en ese instante para cuando sea necesario.
- Reguladores: protegen la batería contra sobrecargas y previenen un uso ineficiente de la misma.

### ¿Qué es la energía solar térmica?

La energía solar térmica consiste en la transformación de la energía solar en energía térmica a través de unos captadores solares, también denominados paneles solares térmicos cuya función es recibir y concentrar la radiación solar con la finalidad de calentar un fluido y que éste sea utilizado para calefacción, agua sanitaria o



Figura 1: Funcionamiento de las plantas fotovoltaicas Tomado de: IBERDROLA (S/n).

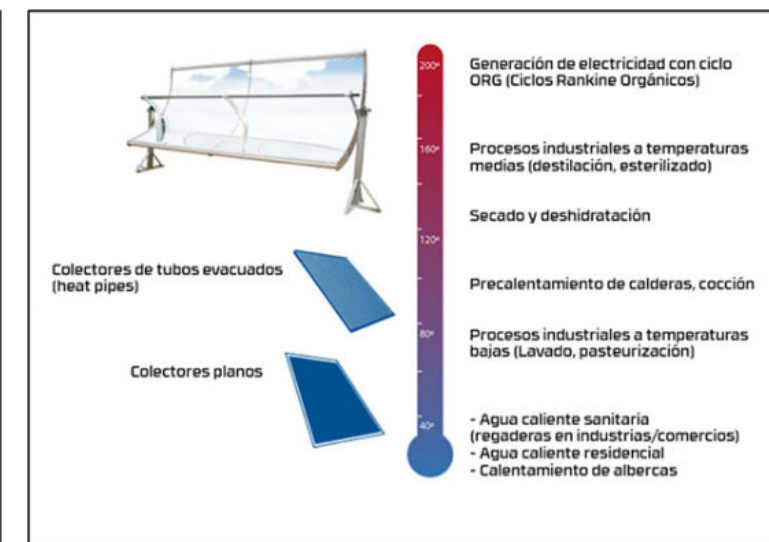


Figura 2: Tipos de energía solar térmica Tomado de: Instituto Mexicano del Petróleo. (2018).

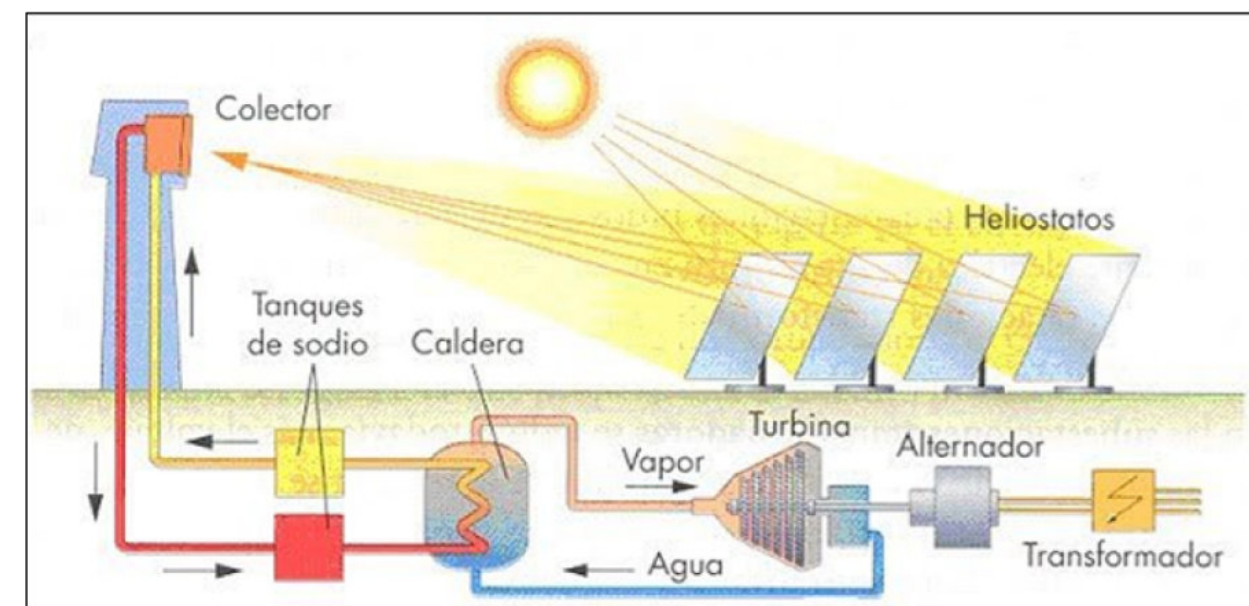


Figura 3: Central solar de alta temperatura, central de torre central Tomada de: Neoteo. (2011).

electricidad a través de una central termo solar. Actualmente, se considera que el calor solar puede contribuir de forma significativa a la energía global requerida para generar calor. En el 2010 la IEA reportó que el 47% de la demanda de energía a nivel mundial está relacionada con aplicaciones térmicas (uso del calor); resaltando la importancia del aprovechamiento de este recurso, sobre todo a nivel industrial.

### Tipos de energía solar térmica

Se distinguen tres tipos de energía solar térmica en función de su temperatura:

- Las instalaciones de baja temperatura se utilizan habitualmente en viviendas. Trabajan con temperaturas menores a 65°C. Están relacionadas con tecnología de colectores planos, no cubiertos y tubos evacuados empleados principalmente para el calentamiento de agua sanitaria y de agua de albercas (Fig. 2).
- Las plantas de media temperatura trabajan con temperaturas entre los 100 y 300°C utilizan tecnologías de tubos evacuados, que alcanzan hasta



120°C de temperatura y de concentradores solares para uso principalmente industrial, enfriamiento y calefacción de espacios (Fig. 2).

- Las plantas de alta temperatura se utilizan para generar electricidad. Trabajan con temperaturas por encima de los 500°C (773 kelvin). Utilizan espejos para concentrar la energía y lograr temperaturas suficientes altas para la generación de electricidad y algunos procesos industriales (Fig. 2).

### ¿Qué son las centrales termo solares?

Las centrales termo solares son instalaciones que aprovechan la energía solar para generar electricidad (una vez que la radiación solar ha sido transformada en energía calorífica). Distinguímos dos tipos:

- Centrales de torre central: cuentan con un conjunto de espejos de gran volumen que concentran la radiación solar en un punto.
- Centrales de colectores distribuidos: utilizan colectores de concentración para amplificar la radiación solar sobre una superficie. Estos colectores obtienen temperaturas de hasta 300°C para producir vapor.

### ¿Qué es la energía solar pasiva?

Es aquella que aprovecha el calor y la luz solar sin utilizar dispositivos mecánicos. Esta energía consiste en aplicar un diseño arquitectónico que mejore la iluminación natural a través de fachadas, superficies de vidrio y una orientación sur. Por tanto, no utiliza componentes extra para producir energía (como es el caso de los paneles solares), está fundamentada en el diseño de construcciones que cuenten con gran aislamiento térmico, un riguroso control de infiltraciones, y una máxima calidad del aire interior, además de aprovechar la energía del Sol para una mejor climatización, reduciendo el consumo energético del orden del 70% (sobre las construcciones convencionales) y el aprovechamiento de los recursos naturales.

El estándar se basa en 5 principios que hacen que el edificio necesite muy poca energía y que ésta, a su vez, pueda basarse en energías renovables, suponiendo un coste energético de calefacción cero.

1. **Aislamiento térmico:** Se utilizan mayormente paneles sándwich de poliuretano logrando un buen rendimiento en grandes espacios como fachadas o techos. Las características de estos paneles consiguen un aislamiento térmico muy alto gracias a su baja conductividad térmica. Esta durabilidad de los paneles sándwich de poliuretano.

2. **Ausencia de puentes térmicos:** Son una zona puntual o lineal, de la envolvente de un edificio, en la que se transmite más fácilmente el calor que en las zonas aledañas, debido a una variación de la resistencia térmica. Se trata de un lugar en el que se rompe la superficie aislante. Estos puentes térmicos perjudican la eficiencia

energética del elemento constructivo, por lo que hay que evitarlos para conseguir una buena casa pasiva.

3. **Estanqueidad,** es decir, la posibilidad de crear una superficie por donde no acceda el agua ni las corrientes de aire al interior del material, evitando que las grietas o huecos intervengan en la eficiencia energética de nuestro edificio. Si la estanqueidad no es suficientemente impermeable, el flujo de aire no seguirá los recorridos planteados y la recuperación del calor no trabajará correctamente, resultando un consumo energético mayor: es importante que una sola capa hermética al aire cubra todo el edificio.

4. **Ventilación con recuperación del calor:** que son equipos cuya función es aprovechar las propiedades psicométricas (temperatura y humedad) del aire que extraemos del edificio o local, e intercambiarlas con el aire de ventilación que impulsamos del exterior. En este proceso de intercambio, no se mezclan el aire del exterior y el aire del interior consiguiendo así los mejores índices de calidad del aire sin perjuicio del confort o del ahorro.

5. **Ventanas y puertas de altas prestaciones,** es decir, al ser los elementos más “débiles” de la envolvente, se ha de poner mucha atención en su correcta ubicación y ejecución para conseguir una buena eficiencia energética.

### Energía solar en México

México no cuenta con un plan de objetivos específicos de energía solar en el Programa de Desarrollo Eléctrico Nacional (PRODESEN), a pesar de tener compromisos de generación de electricidad limpia en la Ley de Transición Energética (2016). De hecho, contrario a la política energética/ambiental adscrita, México continúa, desde 2013, aumentando la proporción de combustibles fósiles en su matriz eléctrica, a pesar de tener una de las mejores radiaciones solares del mundo.

La manera de medir el potencial de energía solar que un territorio tiene es a través de la radiación solar. De acuerdo con la International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015), México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 kWh/m<sup>2</sup> (la unidad de medición de radiación solar). En la figura 6 se observa que el noroeste del país es la zona con mayor potencial, donde la radiación excede los 8 kWh/m<sup>2</sup> en primavera y verano. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica un reto/oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE.

De igual forma, las figuras 7 y 8, muestran la radiación solar para el caso alemán y chino, que según la IRENA Agency (2015) son los dos mercados más grandes de paneles solares en el mundo.

Para hacer una comparación objetiva del aprovechamiento solar de estos países, hay que considerar no sólo la

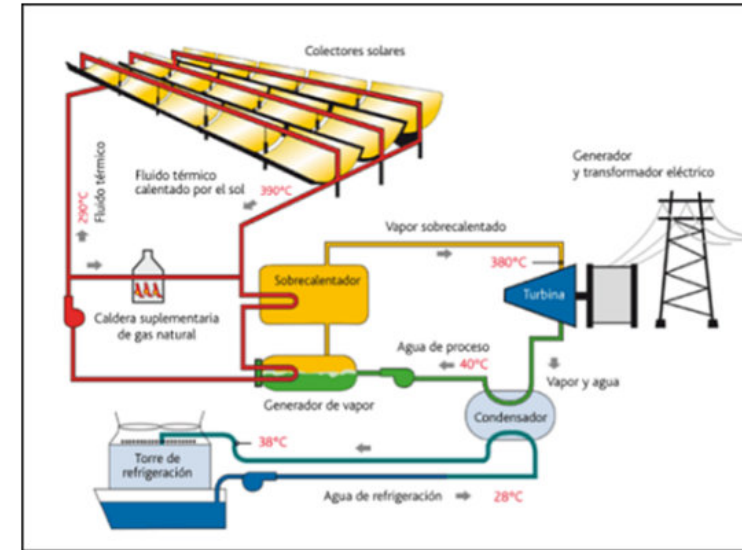


Figura 4: Central solar de alta temperatura, Centrales de colectores distribuidos y/o canales parabólicos Tomado de: Pirobloc (S/n).

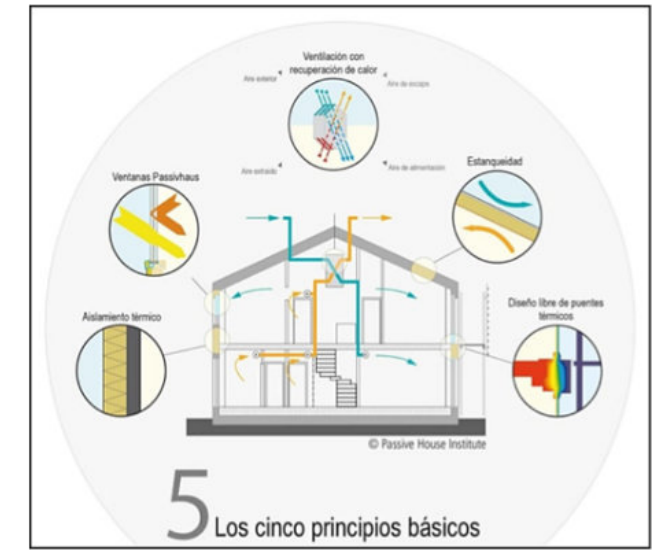


Figura 5: Los 5 principios de la passivhaus Tomado de: Grupo diansa. (diciembre 18, 2017).

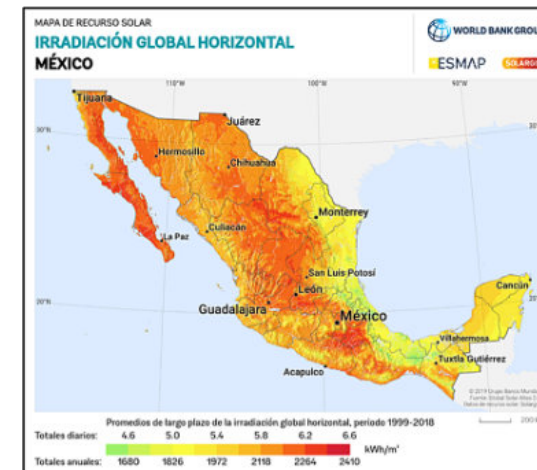


Figura 6: Mapa de la Irradiación Global Horizontal de México Tomada de: SOLARGIS (2019a).

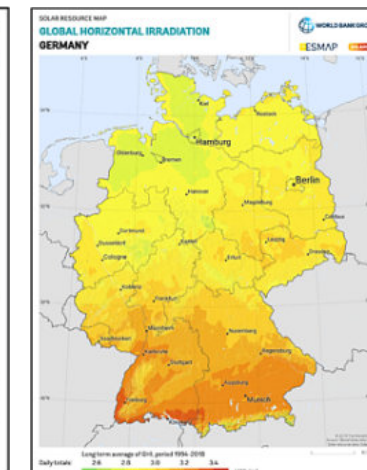


Figura 7: Mapa de la Irradiación Global Horizontal de Alemania Tomada de: SOLARGIS. (2019b).

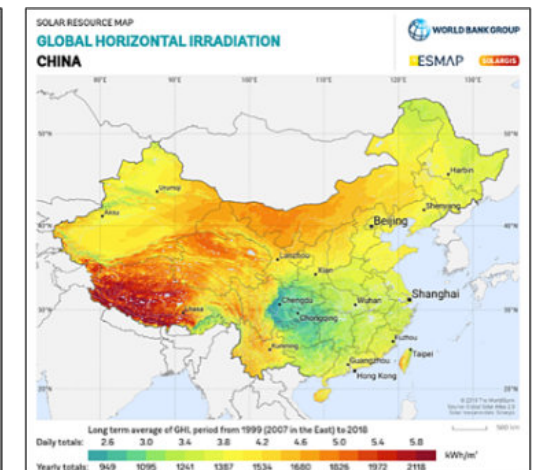


Figura 8: Mapa de la Irradiación Global Horizontal de China Tomada de: SOLARGIS. (2019c).

radiación solar, sino el tamaño del territorio y la generación de electricidad provista por el Sol, como se agrupa en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se observa que, a pesar de que México tiene un territorio 5.5 veces mayor que Alemania y una radiación 5.0 veces superior, la energía solar generada en el país europeo es 44.2 veces superior.

Con respecto a China, a pesar de que México tiene un territorio 4.9 veces menor, tiene una radiación solar promedio 1.2 veces mayor. Sin embargo, la energía solar generada es equivalente al 0.1% de la China.

Los datos del cuadro 1 consideran energía solar utility-scale y GD (generación distribuida). Sin embargo, el cuadro

2 muestra información exclusiva sobre el retraso en GD que tiene México con respecto a otros países. Si se desea aprovechar los beneficios potenciales de la energía solar, México debe alinear sus políticas. Por un lado, los compromisos nacionales (Ley de Transición Energética) e internacionales (COP 21 de París) a los que México se adscribió, buscan una generación eléctrica menos dependiente del carbono. Por otro, se tiene una política comercial/tributaria que grava con 15% la importación de tecnología FV.

A pesar de tener condiciones geográficas y climatológicas ideales para el desarrollo de la energía solar, y de tener algunos esfuerzos logrados, México continúa rezagado a nivel mundial.



Cuadro 1: Comparativo de aprovechamiento solar

País	Tamaño del territorio (Km <sup>2</sup> )	Radiación solar (Kwh/m <sup>2</sup> )	Generación de energía solar (Gwh)
Alemania	357,376.0	1.1	5,047.0
China	9,597,000.0	4.5	116,500.0
México	1,964,000.0	5.5	114.2

Notas: Por disponibilidad de información, los datos de energía solar son del 2014.

Fuentes: Elaboración por el CIEP, con datos del Bank (2017) y de SOLARGIS (2017)

Tabla 1: Comparativo de aprovechamiento solar Tomado de: Instituto Mexicano del Petróleo. (2018).

### Bibliografía

García, F. (2016). El empleo de la energía solar térmica en México. Agosto 10, 2021, de Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA) Sitio web: <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/el-empleo-de-la-energia-solar-termica-en-mexico>

Grupo diana. (diciembre 18, 2017). 5 principios de la passivhaus. Agosto 10, 2021, de Grupo diana Sitio web: <https://www.cubiertasdiana.com/cubiertas-inclinadas-mas-impresionantes/>

IBERDROLA. (S/n). ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?. Agosto 10, 2021, de IBERDROLA Sitio web: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

Instituto Mexicano del Petróleo. (2018). REPORTE DE INTELIGENCIA TECNOLÓGICA ENERGÍA TERMOSOLAR. Agosto 10, 2021, de instituto Mexicano del Petróleo Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/341706/IT\\_TERMO\\_SOLAR\\_Final\\_Rev\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/341706/IT_TERMO_SOLAR_Final_Rev_1.pdf)

Limón, A. (S/n). Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento. Agosto 10, 2021, de Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A. C. (CIEP) Sitio web: <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

Neoteo. (2011). ¿Son eficientes las grandes centrales solares? Agosto 10, 2021, de Neoteo Sitio web: <https://www.neoteo.com/eficientes-centrales-solares/>

Reporte compilado por

Saul Humberto Ricardez Medina

Colaborador de la revista

Cuadro 2: Porcentaje de generación distribuida sobre el total de capacidad instalada

País	Penetración de GD (%)
Alemania	48
California (EUA)	5
Chile	10
Dinamarca	55
España	31
México	0.23

Fuentes: Elaboración por el CIEP, con datos de la SENER (2017).

Tabla 2: Porcentaje de generación distribuida sobre el total de la capacidad instalada Tomado de: Instituto Mexicano del Petróleo. (2018).

Pirobloc. (s/n). PRODUCCIÓN DE ENERGÍA SOLAR. Agosto 10, 2021, de Pirobloc Sitio web: <https://www.pirobloc.com/aplicaciones-y-sectores/produccion-de-energia-solar/>

Planas, O. (octubre 3, 2019). ¿Qué es la energía solar? Agosto 10, 2021, de solar-energia.net Sitio web: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>

Renewable Energy Prospects (IRENA). (mayo, 2015). Mexico, REmap 2030 Analysis.. Agosto 10, 2021, de Renewable Energy Prospects (IRENA) Sitio web: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA\\_REmap\\_Mexico\\_report\\_2015.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_REmap_Mexico_report_2015.pdf)

SOLARGIS. (2019a). Mapas de recursos solares de Mexico. Agosto 10, 2021, de SOLARGIS Sitio web: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/mexico>

SOLARGIS. (2019b). Mapas de recursos solares de Alemania. Agosto 10, 2021, de SOLARGIS Sitio web: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/germany>

SOLARGIS. (2019c). Mapas de recursos solares de China. Agosto 10, 2021, de SOLARGIS Sitio web: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/china>

Tarifasgasluz. (junio 30, 2021). Energía solar en España: ¿Cuáles son sus beneficios y cómo funciona? Agosto 10, 2021, de Tarifasgasluz Sitio web: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/energia-solar#que-es-energia-solar-termica>

## ELEMENTOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS DE PIRÓLISIS ROCK EVAL

Reporte compilado por

Luis Angel Valencia Flores

Editor de la revista

El petróleo proviene de la transformación de la materia orgánica que se encuentra atrapada en las rocas generadoras. Para simular la formación del petróleo en laboratorio y sus reacciones químicas se realiza la pirólisis, la cual se produce al degradar la biomasa por efecto del calor sin la presencia de oxígeno, es decir, en una atmósfera completamente.

La pirólisis fue desarrollada en la primera mitad de la década de los sesentas del siglo pasado, como herramienta de exploración para estimar el potencial de generación de una muestra de roca, al medir la diferencia entre el carbono total (CT o COT) y el carbono residual (CR).

El método Pirólisis Rock-Eval es ampliamente utilizado en la industria del petróleo hoy en día y, se ha convertido en un estándar internacional para pruebas geoquímicas de las rocas generadoras, requiere sólo de 50 a 100 mg de roca pulverizada y puede llevarse a cabo en unos 20 minutos.

Este tipo de análisis es utilizado para obtener información acerca de la cantidad, calidad, el tipo y la madurez termal de la materia orgánica (Philp et al., 1991), a través de la descomposición del kerógeno para formar compuestos de menor peso molecular por craqueo térmico.

Cuando se analiza por pirólisis una muestra de roca (calentamiento según un programa de temperaturas en ausencia de oxígeno) se obtienen tres picos, denominados S1, S2 y S3 (figura 3). Los primeros dos son registrados mediante un detector FID (Flame Ionization Detector) específico para hidrocarburos, mientras que el tercer pico es determinado mediante un TCD (Thermal Conductivity Detector). En ambos casos, se mide el área bajo los picos. El FID es proporcional a la masa de hidrocarburos y se reporta como mg HCs/g roca. En el caso del TCD el área bajo el pico es proporcional al volumen de CO<sub>2</sub> detectado que, por calibración con un patrón de CO<sub>2</sub> conocido, permite reportar la masa de CO<sub>2</sub>.

En el método Pirólisis Rock-Eval se incrementa la temperatura de una manera programada y los hidrocarburos producidos son detectados por el FID (Figura 1).

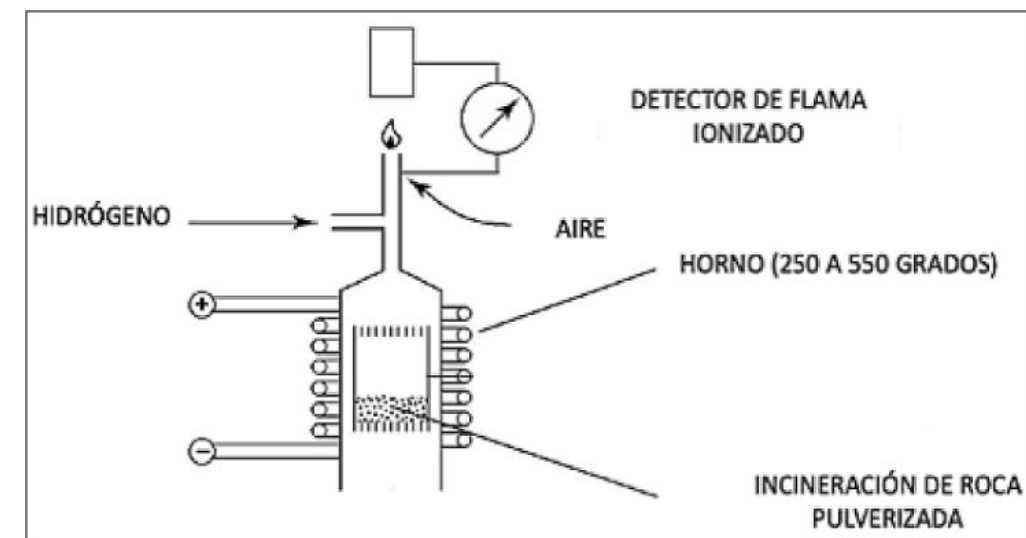


Figura 1. Esquema del Método RockEval



Una pequeña cantidad de roca es calentada bajo una atmósfera de Helio a unos 250°C por tres minutos, luego la temperatura incrementa a unos 25°C/min hasta alcanzar 550°C.

Durante el calentamiento, los siguientes eventos tienen lugar:

Hidrocarburos libres, aceite y gas contenidos en la materia orgánica son vaporizados alrededor de los 300°C. Esta vaporización térmica por un periodo de tres minutos puede graficarse mediante un "pico" llamado S1 expresado en mg HC/g de roca.



Figura 2. Equipo RockEval utilizado

Una pequeña cantidad de roca es calentada bajo una atmósfera de Helio a unos 250°C por tres minutos, luego la temperatura incrementa a unos 25°C/min hasta alcanzar 550°C.

Durante el calentamiento, los siguientes eventos tienen lugar:

Hidrocarburos libres, aceite y gas contenidos en la materia orgánica son vaporizados alrededor de los 300°C. Esta vaporización térmica por un periodo de tres minutos puede graficarse mediante un "pico" llamado S1 expresado en mg HC/g de roca.

Al incrementar la temperatura a los 550°C aparece el pico S2 en la cual se denomina como Temperatura máxima (Tmax), este pico se produce por rompimiento térmico del kerógeno, esta temperatura indica la madurez de la roca madre (potencial de generación de la roca). El valor de S2 depende del tipo de materia orgánica. Los hidrocarburos que construyen el pico S2 representan la cantidad total de aceite y gas de una roca generadora que aún puede producir durante la completa maduración térmica subsecuente en un sistema abierto.

Al bajar la temperatura aparece el pico S3, el cual registra los compuestos oxigenados volátiles como: CO2 y H2O.

En la Figura 3 se observan los picos S1, S2 y S3 en un estudio de pirólisis, el primer pico, S1, representa los productos obtenidos durante la primera etapa a temperatura constante de 300°C, y su área se relaciona con la cantidad de hidrocarburos libres (bitumen) presentes en la roca. El área de S2 está relacionada con la cantidad de hidrocarburos generados a partir del craqueo térmico del kerógeno disponible en la roca, y resulta equivalente al potencial generador de hidrocarburos de la roca en el presente. La temperatura a la que se presenta el máximo del pico S2 (T<sub>máx.</sub>) se relaciona con la madurez alcanzada por el kerógeno. El pico S3 corresponde a CO2 generado a partir del oxígeno contenido en los distintos grupos funcionales durante el craqueo térmico del kerógeno.

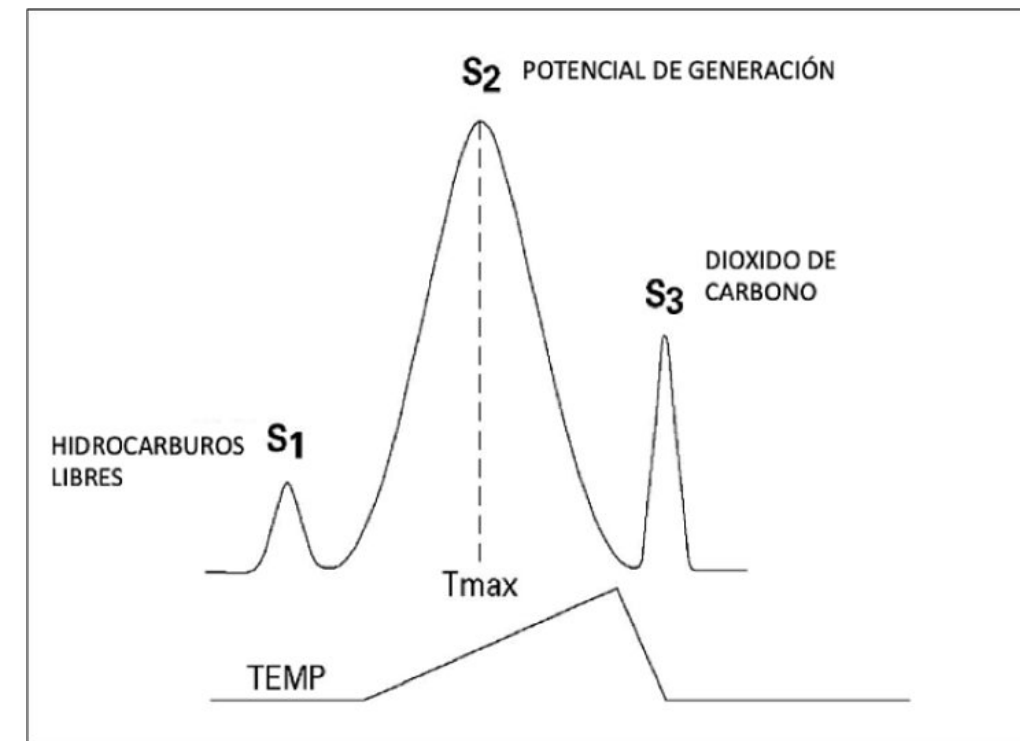


Figura 3. Muestra ejemplo con los tres picos analizados durante la pirólisis.

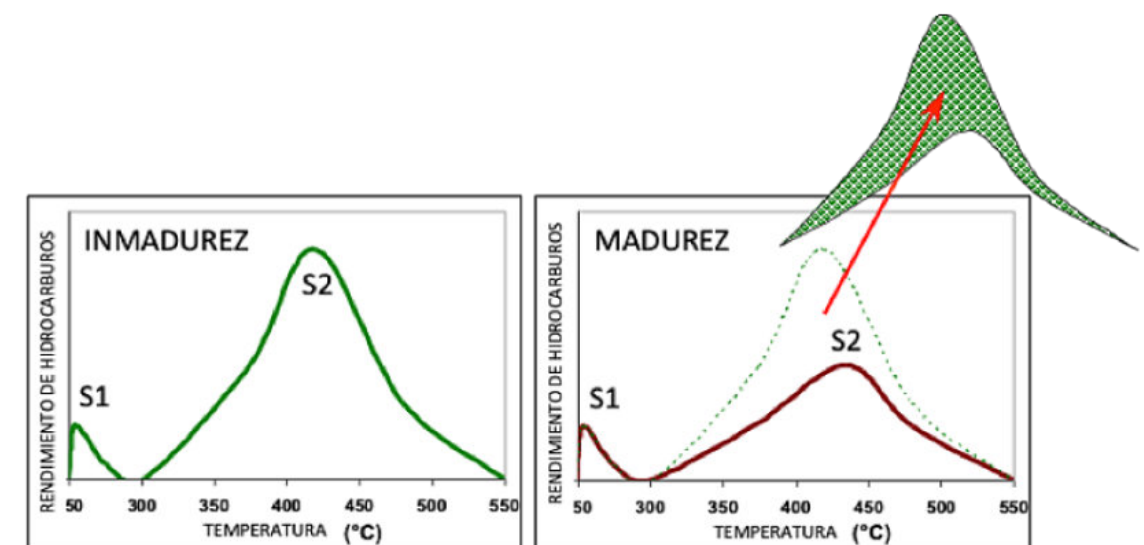


Figura 4. Comparación entre dos rocas con distinto potencial generador. El pico S2 hace la diferencia entre madurez e inmadurez.



SIGNIFICADO DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS
Pico S1 (Hidrocarburos libres).
Pico S2 (Hidrocarburos residuales).
Pico S3 (CO, CO2, carbon mineral).
Tmax (Temperatura cuando alcanza pico S2).

Tabla 1. Muestra los principales parámetros utilizados en la pirólisis.



La Figura 5 muestra el ejemplo de un perfil geoquímico realizado a una roca generadora de ambiente lacustre (Katz and Mello, 2000).

**Parámetros obtenidos a partir de pirólisis Rock Eval.**

- S1:** Hidrocarburos volátiles (HC) contenido, mg HC/g roca; TOC: Carbono orgánico total, wt.%.
- S2:** Potencial generativo remanente de hidrocarburos, mg HC/g roca;
- S3:** Bióxido de Carbono volátil (CO<sub>2</sub>) contenido, mg HC/g roca;
- IP:** Índice de producción = S1/(S1 + S2).
- PY:** Yield potencial = S1 + S2 (mg/g)
- Tmax:** Temperatura del máximo del pico S2
- IH:** Índice de Hidrógeno = S2 × 100/TOC, mg HC/g TOC;
- IO:** Índice de Oxígeno = S3 × 100/TOC
- TOC:** Carbono orgánico total, %

**Dificultades del método**

- Valores no fiables cuando la muestra de roca madre es muy pequeña.
- Valores no fiables cuando la presencia de materia orgánica es mínima.
- Valores anómalos de índices de hidrógeno en muestras que contienen menos de 0.5 peso% de materia orgánica (Peters, 1986).
- El pico S3 es muy susceptible a problemas con los instrumentos (Peters, 1986).
- El bioxido de carbono inorgánico puede conducir a valores de índice de oxígeno anormalmente altos (Katz, 1983).
- Problemas con Tmax y S3 cuando hay supresión (Demetrio Santamaria, comunicación personal).
- Se recomienda pirólisis de roca entera para aspectos generales, y pirólisis de kerogeno para estudios detallados (Katz, 1983).

**Referencias consultadas:**

1. ResearchGate web page.
2. Apuntes de geoquímica, Dr. Demetrio Santamaría Orozco.
3. Caracterización geoquímica de rocas madre y estudio de la Formación Agrio en la zona de Mina San Eduardo, cuenca neuquina, Argentina. Canestro María Florencia, 2017.
4. Determinación de la evolución térmica de las rocas generadoras de petróleo, tesis de licenciatura Virginia Pineda Becerril, UNAM, 2012

Katz, 1983: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0146638083900414>

Peters, 1986: <https://pubs.geoscienceworld.org/aapgbull/article-abstract/70/3/318/38148/Guidelines-for-Evaluating-Petroleum-Source-Rock?redirectedFrom=PDF>

**Mexico cuenta con laboratorios de Geoquímica altamente especializados:**

<https://www.gob.mx/imp/articulos/laboratorio-de-geoquimica-organica?idiom=es>

<https://tellus.geociencias.unam.mx/index.php/geoquimica-de-aguas/>

<https://www.geologia.unam.mx/infraestructura/laboratorio-de-quimica-ultrapura-labgup>

<http://www.portalciga.com/Servicios.html#Lsl>



# TECNOLOGÍA CENTROS



## INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas (CIGA), es una institución creada por la Universidad Autónoma de Coahuila, con el objeto de desarrollar líneas de investigación de frontera y aplicadas, así como el de prestar servicios en geociencias y afines, paralelamente con la formación de recursos humanos de alto valor agregado, mediante posgrados, diplomados, especialidades y cursos de capacitación a fin de lograr consolidar la investigación y el desarrollo de los sectores inmersos en la exploración y explotación de los recursos naturales no renovables.

Para esto, el CIGA cuenta con laboratorios especializados, para soporte de las actividades de investigación y posgrado, que apuntalan al CIGA como una institución capaz de desarrollar servicios científicos necesarios para todos los sectores nacionales e internacionales, con el fin de generar conocimiento de frontera y formación de recursos humanos de calidad.

Nuestra Misión es apoyar la investigación de frontera en geociencias, a través de líneas de investigación, posgrados, capacitación y servicios tecnológicos o de investigación aplicada.

Nuestra Visión: Para el año 2025 somos una institución innovadora y de vanguardia con reconocimiento nacional e internacional por sus productos de investigación de frontera y la calidad de sus servicios de posgrado, siendo la primera entidad en su tipo, orientada a la investigación multidisciplinaria en yacimientos de hidrocarburos no convencionales, que genera, difunde e intercambia información y conocimiento, además de formar científicos y técnicos altamente especializados.

## ALCANCE

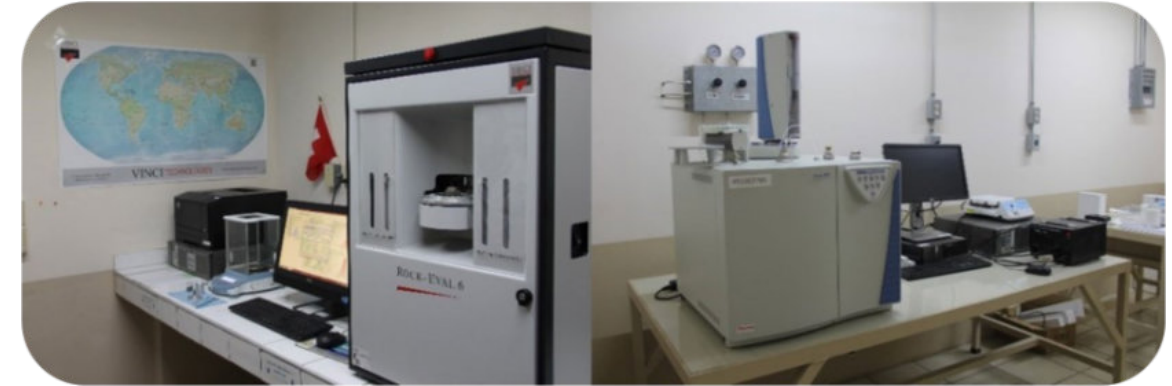
Gracias a la autonomía de la que goza la universidad, el alcance de nuestros servicios es global, donde podemos atender cualquier necesidad vía remota o mediante un desplazamiento físico sin restricción alguna.

## ACREDITACIONES

Nuestros laboratorios se encuentran certificados bajo la norma ISO 9001-2015.

Además, la Universidad Autónoma de Coahuila cuenta con la certificación de Empresa Socialmente Responsable (ESR).

## LABORATORIO DE GEOQUIMICA



El Laboratorio de Geoquímica del CIGA, ofrece los siguientes servicios: Análisis Químico Elemental (AQE) y de Pirolisis Rock-Eval 6 Turbo.

El microanálisis o Análisis Químico Elemental (AQE) se basa en la oxidación total de la muestra mediante una combustión instantánea y completa. Los productos de la combustión: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, son arrastrados por un gas portador (Helio) hasta sensores individuales y selectivos de dichos productos por celdas de infrarrojos. Posteriormente, los gases son eliminados para medir el Nitrógeno por termoconductividad diferencial. Se pueden analizar muestras sólidas o líquidas, productos químicos puros, rocas generadoras, aceites pesados, carbón, combustibles, así como también algunos tipos de suelos, arenas, arcillas, sedimentos y otras muestras inorgánicas.

El CIGA, ofrece también el servicio de análisis por pirolisis Rock-Eval 6, donde identificamos la calidad de la materia orgánica presente en la roca generadora. Esta técnica, permite realizar la medición de algunos parámetros utilizados para determinar el potencial de las rocas generadoras o rocas madres de un yacimiento petrolero. Los parámetros que se determinan son; TOC (riqueza orgánica), S1 (hidrocarburos libres en roca), S2 (potencial restante de hidrocarburos), S3 (CO<sub>2</sub> orgánico), Tmax (Temperatura máxima de pirolisis).

### Usos y aplicaciones

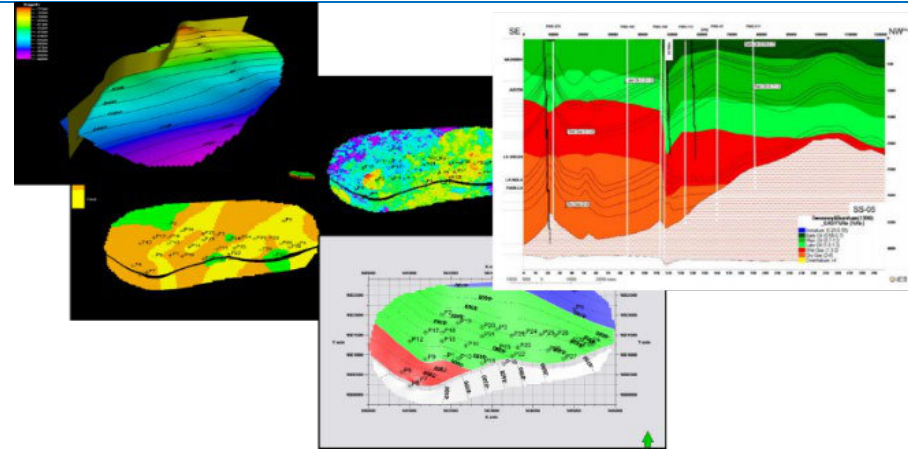
- Análisis de contenido total de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre
- Aplicación en la Industria petrolera para determinar estado de madurez y origen de la materia orgánica mediante la relación H/C y O/C tipo Van Krevelen
- Determinación de la composición y confirmación de la fórmula empírica de un compuesto orgánico
- Evaluación de la pureza y homogeneidad de las muestras
- Control de calidad de compuestos orgánicos e inorgánicos empleados en la industria.

### Equipos

- Pyrolysis ROCK-EVAL 6 TURBO®
- Analizador elemental CHONS (Thermo® Scientific FLASH 2000)
- Microbalanza (MX5 METTLER TOLEDO®)
- Geochemical software (Geoworks®)
- Modulo Geowork. (kinetics studies, shale gas interpretation)
- Modulo Quick Kinetics (distribución de energía de activación)



**LABORATORIO DE GEOMODELADO**



El Laboratorio de Geomodelado del CIGA, se ha desarrollado, como una necesidad creciente, para integrar dos escalas de modelado, basadas en software de modelado de cuencas y de simulación yacimientos.

Como filosofía, utilizamos una base de datos de múltiples variables y datos geofísicos producto de la caracterización y análisis detallado de un conjunto de formaciones ricas en materia orgánica, administrada bajo un protocolo estricto de geomodelado, que nos permite proporcionar información sobre la diagénesis del yacimiento y el estado actual de los hidrocarburos generados, incluidos los patrones estratigráficos, la mineralogía, el tamaño de grano, el contenido y estado de la materia orgánica, así como la definición de secciones estratigráficas ausentes y el impacto de las no conformidades en los resultados del modelo.

Hoy, la industria es más consciente de que se debe considerar el ciclo de vida completo de un proyecto y que se requiere un enfoque que permita garantizar un flujo progresivo durante la transición de los procesos de exploración y producción. Por ello, el modelado ofrece una herramienta capaz de vincular o fusionar estos procesos, para proporcionar una mejor comprensión del flujo de fluidos en un yacimiento convencional o un no convencional.

**Usos y aplicaciones**

- Reconstrucción de la evolución térmica de la materia orgánica.
- Condiciones de presión y temperatura, en la evolución de generación de hidrocarburos.
- Interpretación y manejo de datos geológicos, geofísicos y geoquímicos.
- Simulación numérica y análisis de cuencas.
- Construcción de modelos en 1D, 2D y 3D a partir de la integración de datos de la caracterización de yacimientos.

**Equipos**

- Estaciones de trabajo de alto desempeño
- Gocad®
- ArcGIS®
- Autocad®
- Minesight®



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GEOCIENCIAS APLICADAS**

Universidad Autónoma de Coahuila  
Calle 5 de febrero #303-A esq. Con Blvd. Simón Bolívar  
Col. Independencia  
C.P. 26830  
Nueva Rosita, Coahuila., México.

**Página web:**

<http://www.portalciga.com>

**ADMINISTRACIÓN**

DR. LUIS FERNANDO CAMACHO ORTEGÓN  
Director General

DR. JUAN JOSUÉ ENCISO CÁRDENAS  
Subdirector Administrativo

DR. ARTURO BUENO TOKUNAGA  
Coordinador del Departamento de Investigación y Posgrado

DR. DIEGO MARTÍNEZ CARRILLO  
Subcoordinador del Departamento de Investigación y Posgrado

LIC. MELISSA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ  
Coordinadora del Departamento de Administración de Servicios, Proyectos y Vinculación

LIC. ADRIANA PLAZA MONSIVÁIS  
Coordinadora del Departamento de Adquisiciones

**INVESTIGADORES**

DR. ARTURO BUENO TOKUNAGA

DR. DIEGO MARTÍNEZ CARRILLO

DR. LUIS FERNANDO CAMACHO ORTEGÓN

DR. JUAN JOSUÉ ENCISO CÁRDENAS

DR. SAMUEL CHACÓN DE LA ROSA

MC. ALAN OMAR AYALA REYES

MC. SUSANA LIZBETH MATERANO ESCALONA

MC. GENARO DE LA ROSA RODRÍGUEZ



# Fotografías enviadas por estudiantes de geología



Veta de Magnetita emplazada entre el contacto de una roca caliza de la Formación Tepalcatepec (techo) y una roca andesítica afectada por alteración argílica (piso), mina La Perla, estado de Jalisco.



Manto de hierro (Hematita) emplazado en rocas riolíticas de la Formación Tizapotla, hacia la cima se observa una zona de oxidación, mina La Pintura, Puebla. Aportación: **Benjamín Panchillo Lucas**, Ingeniero Geólogo ESIA Ticomán, IPN.



Basalto gris claro con plagioclasas de textura afanítica y poca presencia de vesículas, formando estructuras prismáticas pentagonales de 60 cm de diámetro, con inclinación de 57 a 90° y fracturas de tensión. Presenta alteración color pardo-marrón a amarilla en las partes externas del prisma. Localidad: Tlatempa, Zacatlán, Puebla. Aportación: **César Michel Hernández García**, pasante de ingeniería geológica ESIA Ticomán, IPN.

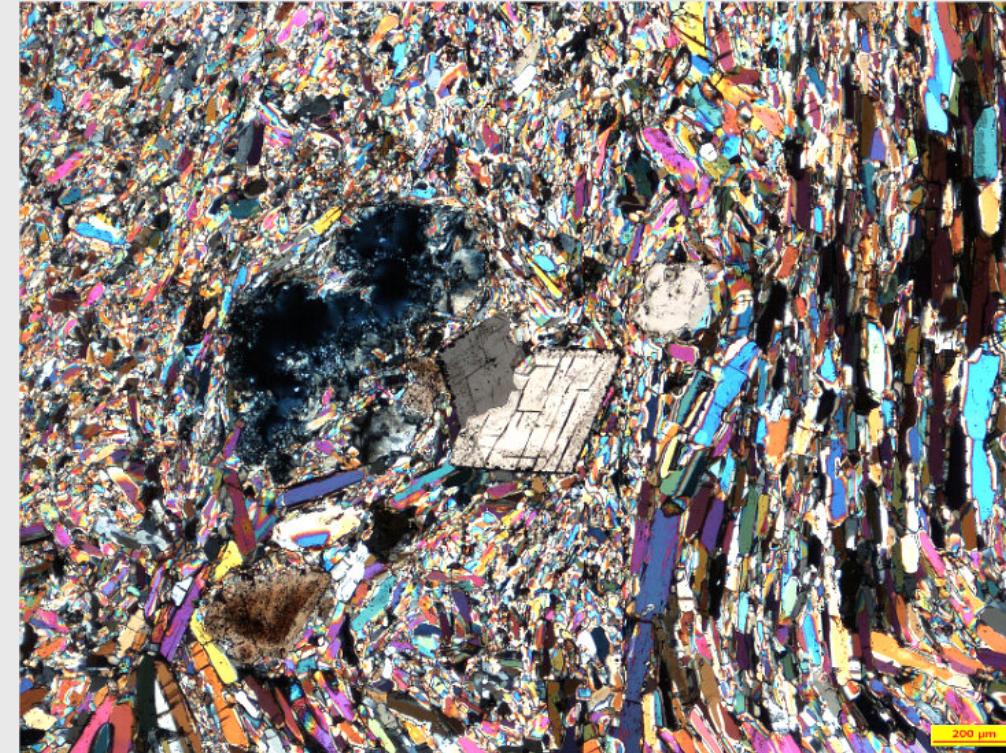
Las fotomicrografías en las página 55 fueron provistas por:

Dr. Jordi Tritlla Cambra

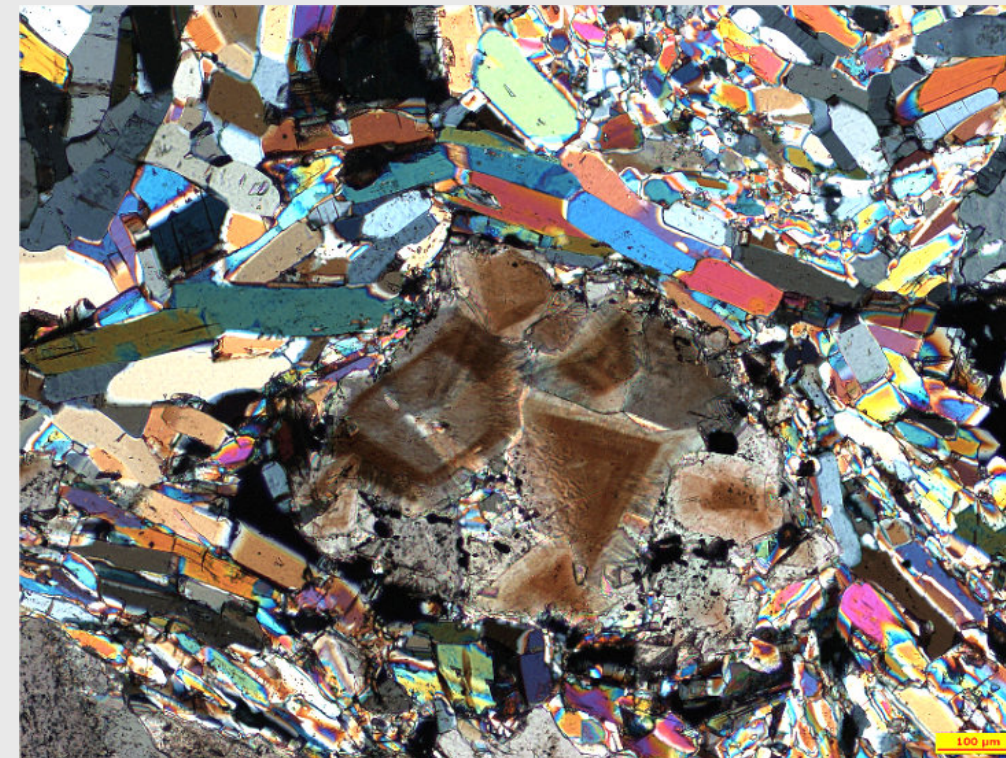
Geólogo Consultor

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

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



Zoned planar dolomite crystals within deformed crystalline anhydrite mass. Dolomite is corroded and partially brecciated, indicating that they are most probably xenoliths pulled from the underlying lacustrine beds during halocinetics. Upper Aptian, Campos Basin, Brazil. Crossed polarized nicols.







**A nosotros los estudiantes de geología nos gusta mucho realizar las prácticas de campo, porque tenemos la oportunidad de tomar muchas fotografías de estructuras geológicas, montañas y de afloramientos.**

**Eres estudiante de geología y tienes fotografías de afloramientos de tu área de estudio o de viajes de campo?**

**Comunícate con**

**Saúl Humberto Ricardez Medina**

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

**quien está a cargo de organizar esta información.**

# NOTAS GEOLÓGICAS

**The oils and source rocks of the Patuca, Niobe and Mosquitia Basins, Honduras**

**Chris Matchette-Downes and Huw Williams**

CaribX (UK) Limited, Cedar House, Marlow, SL7 1DQ, England

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

## **Abstract**

Analysis of recently collected oils combined with a review of the source rocks in the western Caribbean area support both a regional Tertiary, and Cretaceous source and provide some information as to the origin of the Caribbean.

Offshore eastern Honduras comprises of a terrane (Chortis) that has been interpreted to have been introduced into the Caribbean from the Pacific margin as part of an active transtensional margin separating the Caribbean and North American plates. There are two distinct structural domains in the Honduran offshore area: (1) an approximately 120-km-wide area called the Honduran Borderlands which lies immediately south of the Cayman Trough. The area is characterized by narrow rift basins controlled by basement-involving normal faults sub parallel to the margin, and a significant degree of transtensional and some transpressional tectonic movement. This can clearly be seen in Figure 1. We examined two basins within this domain; the Miocene Patuca basin and the associated younger Niobe basin to the North. (2) The Nicaraguan Rise, which is characterized by small-displacement normal faulting and sag-type basins. The Mosquitia basin on the southern flank and basins to the east in Jamaica are here described in terms of their source and reservoir rocks and migrant oils.

The migrant oils and source rocks can support the western incursion but more plausibly an in-situ origin for at least part of the western Caribbean.

## **Introduction**

The Upper Nicaraguan Rise is an area which has historically experienced limited hydrocarbon exploration. As a consequence, there is limited data concerning the petroleum character and potential within this vast region stretching from Jamaica in the east to Honduras in the west (Figure 1).

In 2009 CaribX commenced exploration activities in the area for the first time since the hiatus of exploration which had been in place since 1980. At the same time Petroleum GeoServices separately undertook a 2D seismic data acquisition programme. Offshore eastern Honduras however remains lightly explored with only 31 exploration

wells drilled to date in both the offshore and onshore. The most significant well drilled in the area is the Main Cape #1 well (Figure 1), drilled at the tail end of a rising structure within the Mosquitia basin in 1973 by UNOCAL (now Chevron), in which oil was recovered at the surface from 3 separate Drill Stem Tests and from the mud pits. In addition to the well penetrations there is approximately 19,600 line-kilometres of 2D seismic, most of which has been acquired within the last decade.

In 2013 BG Group were awarded the Main Cape block, and, during a 4-year exploration program, acquired a long-offset seismic data set along with 35,000 km<sup>2</sup> of Full Tensor Gravity (FTG) and magnetics data, high resolution multi-beam bathymetry, an extensive seabed coring



programme, 36 fully calibrated seafloor heat flow measurements, and the geochemical analysis (GC, GCMS) of seabed core extracts and an onshore seep. The result of this exploration programme was the identification and mapping of several leads and prospects across the Patuca, Niobe and Mosquitia basins (Figure 1).

CaribX first visited Honduras in 2009, during which they studied the potential and placed their initial bid for the Main Cape block. In 2017 the Main Cape block was assigned to CaribX, since then significant work has been conducted to build on the initial exploration programme. The recent exploration effort has allowed the further understanding of the three basins in the study area (Figure 1): the Niobe (Miocene and younger), the Patuca (mainly Eocene to Miocene) and the Mosquitia (Upper Cretaceous to Palaeogene). Additionally, the likely source for the hydrocarbons found within the seabed cores, shows in the wells, and in the seeps onshore has been extensively researched.

CaribX's most recent research, and the objectives of the studies are here presented and provide an attempt to define the likely Petroleum System or Systems within this region, away from the calibration points by recourse to biomarker and isotope assemblages from the analysis of oil samples from each end of the Upper Nicaraguan Rise.

The geochemical data presented can also be used to help determine the origin of the Caribbean.

The analysis of oil shows, seeps and source samples collected from Jamaica and Honduras are compared with CaribX's regional oils data base. The results are presented within the geological framework established from seismic and potential fields data evaluated by the authors and other specialist researchers in this part of the western Caribbean.

### Geologic Setting

The geology of offshore Honduras is poorly constrained due to the limited well and seismic coverage, and further complicated by the "basin and horst" geometry that characterizes the Upper Nicaraguan Rise (Figure 1). The Nicaraguan Rise is thought to be the result of a Late Cretaceous collision of the Great Arc of the Caribbean with continental crust of the eastern Chortis Block, followed by a left-lateral displacement of the NW Caribbean Plate (Pindell & Kennan 2001; Mann et al. 2006; Pindell et al. 2006). Oils data provide an alternative possibility. The Nicaraguan Rise is thought to be underpinned by Jurassic

sediments, however the deepest wells only reach Apto-Albian aged sediments. Much of the upper Cretaceous and lower Tertiary has been removed, but the degree of removal varies across the Nicaraguan Rise relating to this basin and horst geology.

The study area is comprised of the eastern part of Chortis which broadly occupies the northern flank of the Nicaraguan Rise. The area is demarcated by the Cayman Trench and the Swan Fault system to the north, and runs towards western Jamaica (Figure 1). It is approximately defined by a line from the Coco River mouth along the Honduran and Nicaraguan maritime boundary. Within this study area CaribX have focused on three distinct basins, the Patuca, Mosquitia and Niobe basins (Figure 2). Each basin possesses distinct characteristics related to their age and proximity to the the Cayman Trench and the Montague-Polochic-Swan Islands Fault System (Figure 3).

The Patuca basin is dominated by faulted and karstified mid-Miocene platform and reef-forming carbonates. The older Mosquitia basin to the south is largely composed of platform carbonate of Eocene age with some episodic clastic input from the paleo Coco River. To the north of the Patuca basin, the geology youngs towards the Cayman Trench. The Niobe basin, the least explored part of the Honduran Borderlands, is thought to be of upper Miocene to Pliocene age. There are no well penetrations or outcrop control, however it can be seen that the carbonate character of the Patuca basin does not extend into the Niobe basin.

The geologic and depositional history of the three basins is presented here:

### The Patuca Basin

The Patuca basin is one of a series of elongate rift basins which run sub-parallel to the Cayman trough (Figure 1), and has been controlled by basement-involved normal faults striking sub-parallel to the trend of the Montague-Polochic-Swan Islands Fault System (Cavajal-Arenas et al 2015). The basin's proximity to the Cayman Trough has had a significant influence on the complex basin architecture. The Cayman Trough, an approximately 100 km-wide and 1100 km-long submarine depression, formed and developed as a pull-apart basin generated by the reorientation of the Caribbean Plate from NE to east during the Eocene – Recent (Mann et al. 1995). The proximity of the Patuca basin to the belt of transtension along the southern edge of the Cayman Trough has resulted in a complex series of compression, transpression and deformation (Dewey et al. 1998) during the Cainozoic.

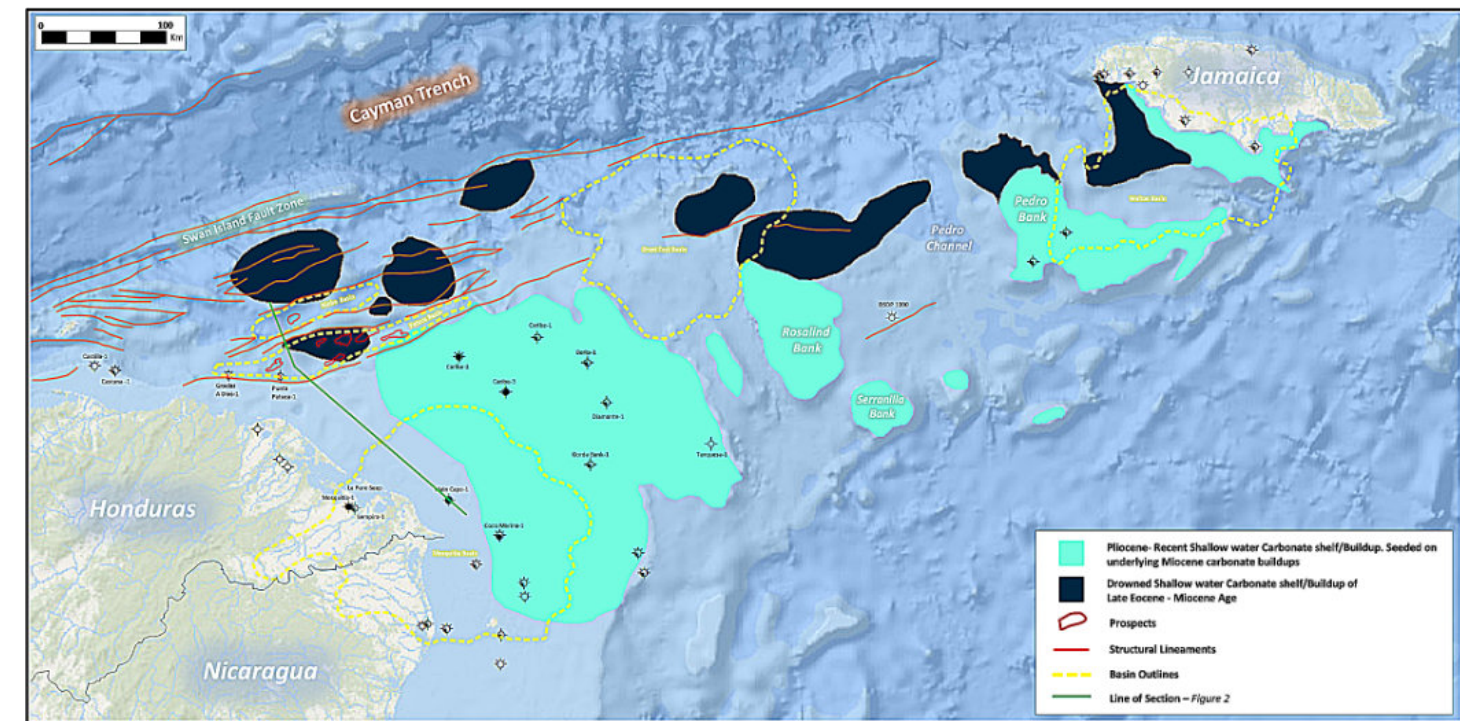


Figure 1. Study area, (Ref CaribX data base, Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC). NB the elongate character of the basins along the northern flank of the Nicaraguan Rise

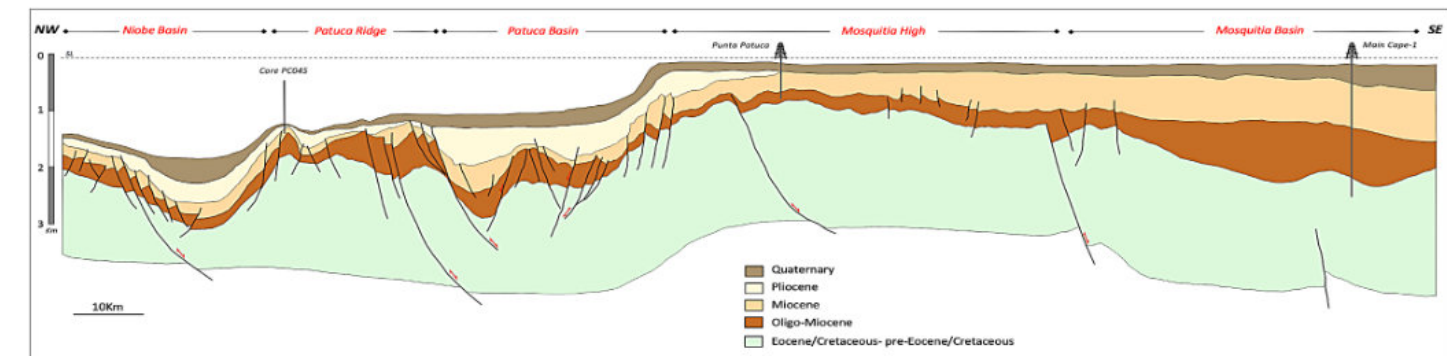


Figure 2. Regional cross section Niobe-Patuca-Mosquitia basins. Location of line indicated on Figure 1

By Late Eocene a significant counter-clockwise rotation of the Chortis Block occurred during the development of the Montague-Polochic-Swan Island strike-slip fault system (Emmet and Mann, 2010), and the resultant initiation of the Cayman trough spreading centre. This rotation and spreading adjacent to the Patuca basin resulted in a compression of the basin and an uplift and deformation of the Cretaceous-Eocene strata. Such deformation resulted in the development of an axial high within the basin, and by Early Oligocene water depths along the high were suitable for the initiation of carbonate deposition (Figure 4B). Initial deposition in the shallow waters was dominated by shallow carbonate platform facies, similar to those seen in the White Limestone Group of Jamaica (Mitchell, 2004;

2013) which is dominantly composed of Nummulites and Foraminifera.

A continued eastwards transport of the Chortis-Siuna Block along the curved Montague and Swan Islands Fault System during the late Oligocene to Early Miocene resulted in additional counter-clockwise rotation of the block, which in turn resulted in a switch to a more Transpressional regime in the Patuca basin. This switch in basin process resulted in a tilting and submergence of the deposited carbonate platform. This deepening of relative sea level in the Patuca basin resulted in a switch in type of carbonate deposition, to a more 'keep-up' style of deposition. The Miocene biota likely inhibited the development of a rigid reef framework, with the deposition of low-relief, mounded, lenticular



geometries more likely (Figure 4c). A major lateral movement along the Cayman Trough occurred during the Late Miocene resulting in a brief return to a compressional setting within the Patuca basin. A consequence of this compression was a rapid uplift, exposure and erosion of the thick carbonate succession which had been deposited in the basin (Figure 4A). Such emergence and erosion is readily identifiable on seismic data through the basin with the top carbonate horizon marked by a hummocky relief and truncated reflectors indicative of a karstified surface (Figure 5A).

The large-scale counter-clockwise rotation of the Chortis Block had ended by the conclusion of the Miocene, with the Caribbean Plate changing its overall movement direction from north-eastwards to eastwards (Mann et al. 1995). A resultant southward tilting and deepening of the Nicaraguan Rise rapidly submerged the previously exposed sequences, with the Patuca basin entering a phase of relaxation and accelerated subsidence. Basinal deposition became dominant in the Pliocene to Recent (Figure 4E).

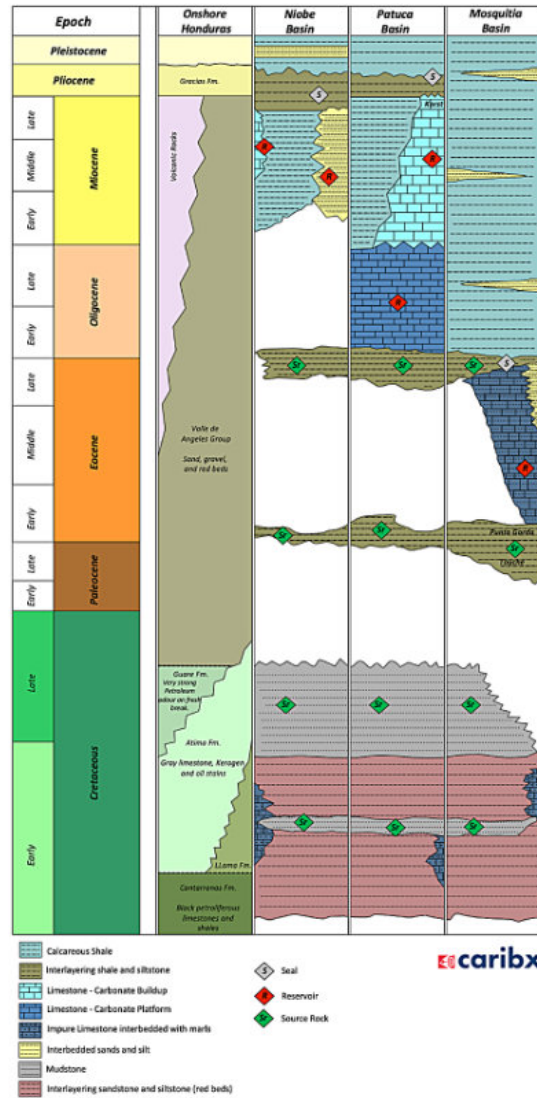


Figure 3. Onshore Honduras, Niobe, Patuca and Mosquitia Basin geology.

**The Mosquitia Basin**

The Mosquitia High and Mosquitia Basin form part of the broad carbonate shelf of the Nicaragua Rise. The Mosquitia basin is very different to the transtensional elongate basins to the North of the Nicaraguan Rise, such as the Patuca and Niobe basins. The Mosquitia basin formed during the Cretaceous as a diffuse, rounded relaxation/sag basin

(Figure 2), with minimal fault control. The quality of the seismic data in the Mosquitia basin is generally quite poor (Figure 5B), however, there are wells within the basin which provide an indication of the stratigraphy. The most notable well is the Main Cape #1 well, which flowed oil to surface from Middle Eocene carbonates. These carbonates were deposited in a carbonate platform environment, however, the block and trough environment of the

Nicaraguan rise was not well established in the Middle Eocene. As a result of this, open-marine, clean-platform carbonates were only established towards the latter part of the Eocene and into the Oligo-Miocene. Therefore, the first carbonates deposited on the recently established blocks tended to be impure limestones and marlstones, with both clastic input and intermittent purer limestone development.

**The Niobe Basin**

The Niobe basin is located north of the Patuca basin, occupies some 700 km<sup>2</sup> and is one of several elongate basins that characterise the upper Nicaraguan Rise (Figure 1). There is little seismic control and no wells, but at the

time of writing there is sufficient seismic data to determine that this basin is younger than the Patuca basin and that the Miocene limestone is not present or does not feature strongly.

The late Miocene to Pleistocene section is very much thicker than in the adjacent Patuca basin with some 4 km of sediment. These successions have been interpreted to be largely clastic with some carbonate development. The basins closer proximity to both the Cayman spreading ridge and Swan Island Fault zone has resulted in the formation of significant structuration, as the transpressional stresses have created roll over, thrust and faulted block geometries (Figure 5C).

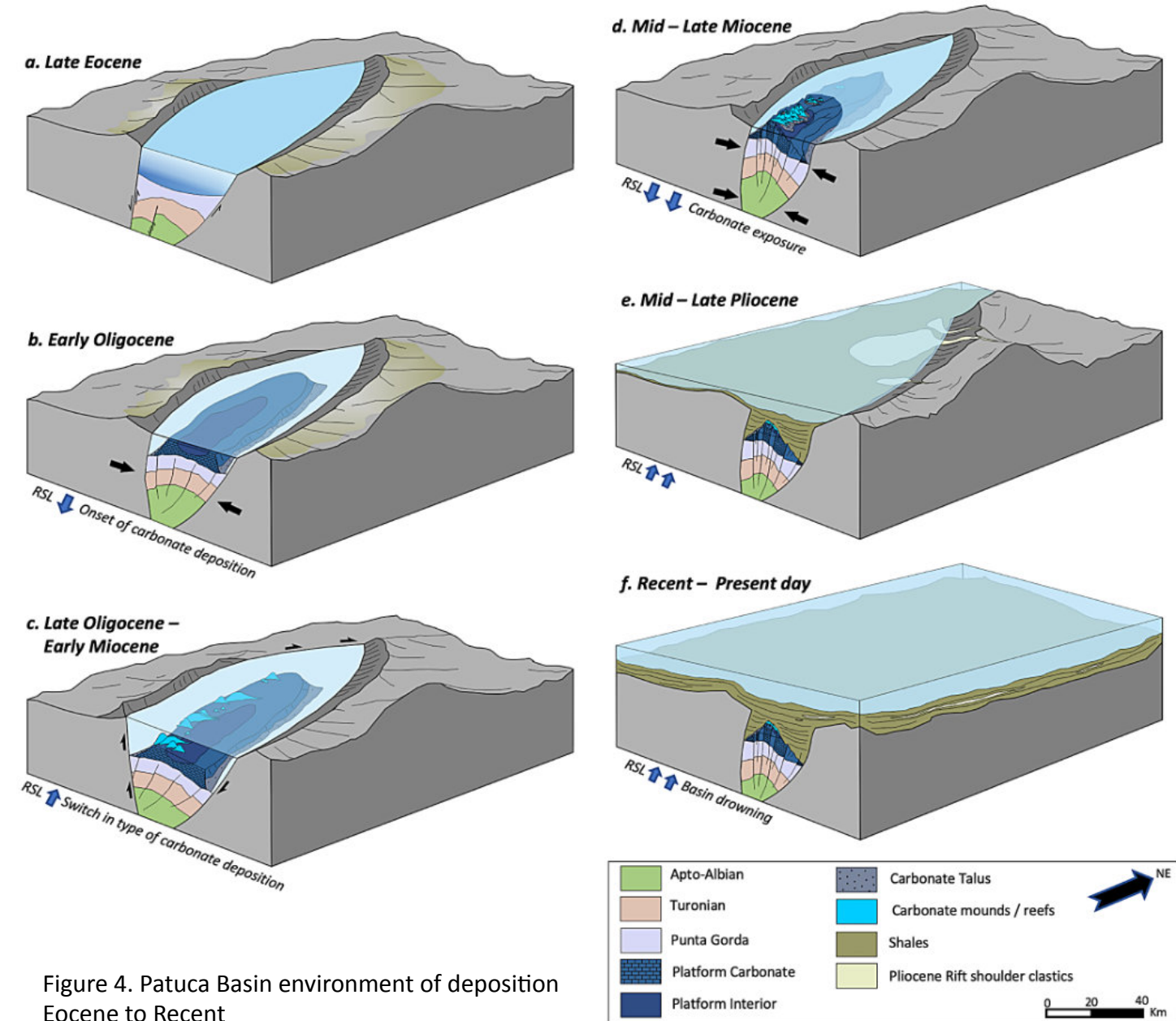


Figure 4. Patuca Basin environment of deposition Eocene to Recent



**Methodology**

The Petroleum System or Systems within the AOI (Figure 1) have been defined by collection (where possible) and analysis of seeps and shows from the region. Samples have been analysed by standard geochemical techniques, including: separation into aliphatic and aromatic moieties, with further separation of the aliphatic fraction into alkane components, followed by gas chromatography (alkanes); gas chromatography-mass spectrometry (GCMS) in selected ion recording mode (SIR) (alkanes and aromatics); carbon stable isotopes (alkanes and aromatics); and, for the whole oil, measure the presence of sulphur (%), nickel (ppm), and vanadium (ppm). Biomarkers, isotopes and elemental analysis data have long been used to determine

the character, maturity and the likely palaeoenvironment of the precursor source rock.

Whilst as many as four laboratories were commissioned during the period of study (2009 to 2020) the procedures are essentially the same and the ions selected for interpretative purposes were: M/z 191, 218 and 217 for the alkane components and M/z 231 & 253 for the aromatic components. The analytical process is more fully described in Kenneth Peters' *The Biomarker Guide*, and in *Sampling and experimental procedures* from the Geological Society Special pub. 77. The oils data set was augmented with material from papers and summary reviews from *The Biomarker Guide*.

Predictions regarding source rock lithology and depositional environment (largely regardless of geologic age) can be made via GEOMARK's OILS database ([www.RFDbase.com](http://www.RFDbase.com)), which is based on average values for global petroleum systems built through the analysis of terpane biomarkers from several thousand oils. Oils collected from the region by CaribX have been analysed for the same biomarkers and plotted against the global occurrences as described by GeoMark Research for some of the classic oils / source rock end members in the region, namely the Upper Jurassic Smackover, Lower Cretaceous

Sunniland and the Turonian La Luna and Eagleford oils (Figure 6). [CaribX does not have access to the RFDbase data base.]

The above local and regional information was then used to constrain the seabed core data collected by the then BG group. BG acquired 201 seabed core samples in 2015; solvent extracted 102 sub samples for whole-oil GC analysis, and undertook 101 Headspace gas analyses. BG group also later acquired SIR GCMS data for 5 samples.

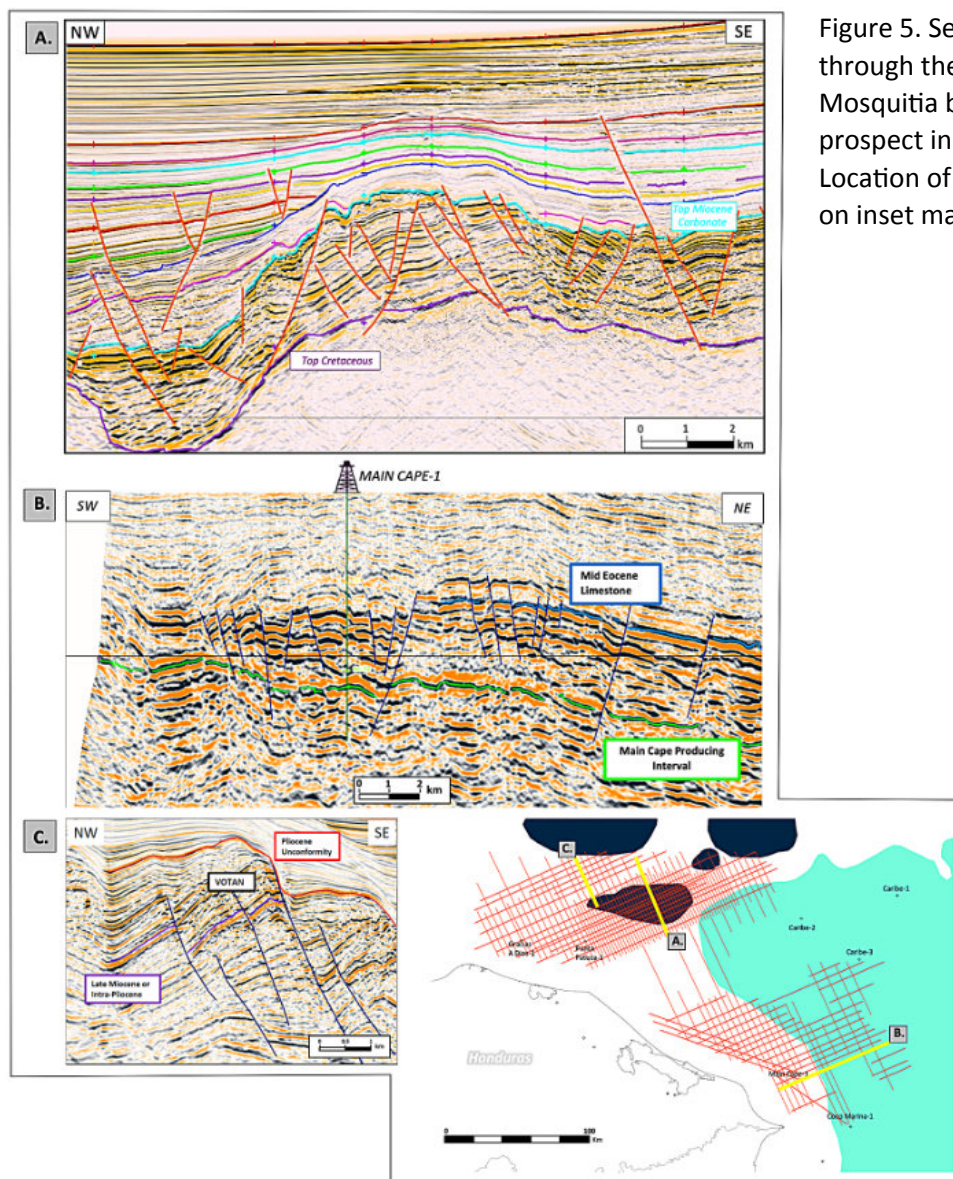


Figure 5. Seismic sections through the A); Patuca Basin, B); Mosquitia basin, C); the Votan prospect in Niobe basin. Location of lines are indicated on inset map.

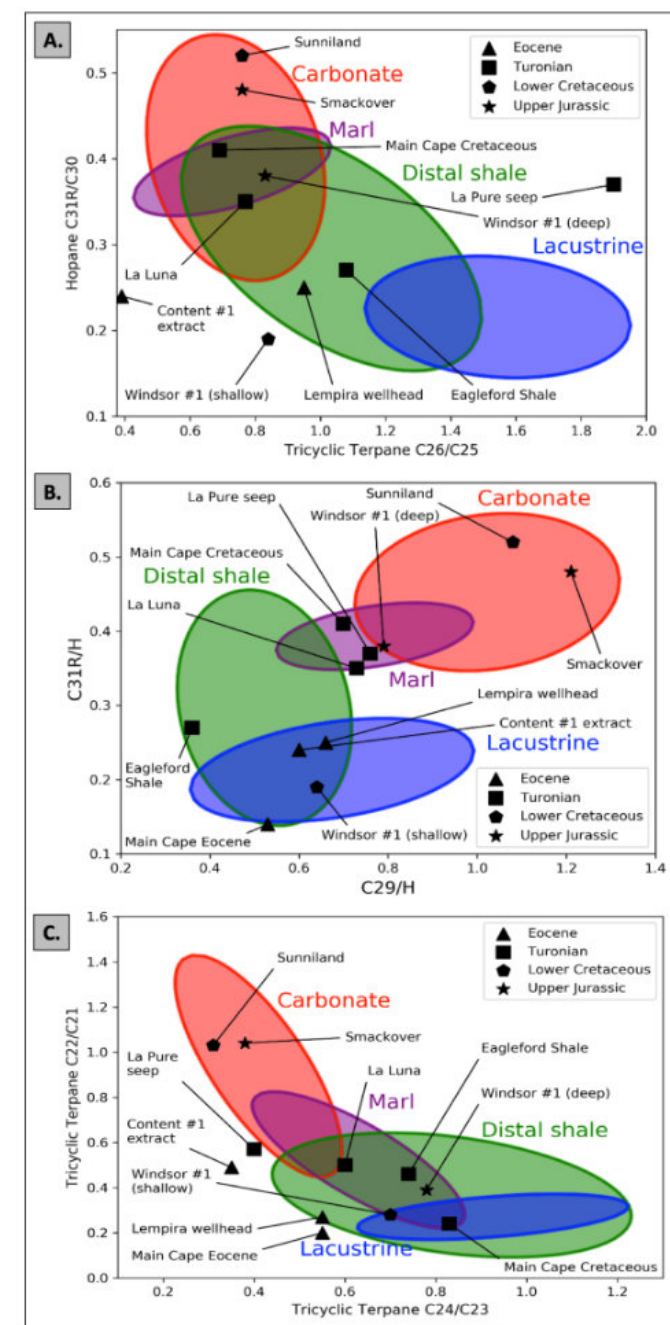


Figure 6. A); Upper Nicaraguan Rise & Western Caribbean oils compared to GeoMark Research global oils data, palaeoenvironment, and pentacyclic vs tricyclic terpane data. NB. No C26 tricyclic terpanes recorded / monitored in the Main Cape Tertiary derived oil. B); Upper Nicaraguan Rise & Western Caribbean oils compared to GeoMark Research global oils data, palaeoenvironment, and pentacyclic terpanes. C); Upper Nicaraguan Rise & Western Caribbean oils compared to GeoMark Research global oils data, palaeoenvironment, and tricyclic terpanes.

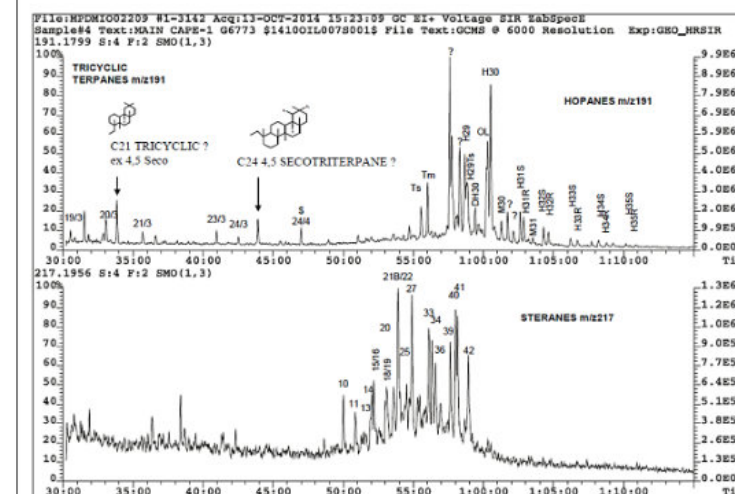


Figure 7. Main Cape oil (1), Eocene source, triterpanes M/z 191 and Steranes M/z 216 (analysis by Intertek United Kingdom, now closed)



Discussion

Miocene source rocks

Coals are recorded in the Castella #1 well on the distant flanks of the Patuca basin (Figure 1), perhaps representing paralic or limnic facies as often is found associated with lacustrine or coastal paralic settings and in part responsible for the higher plant input into the basin proper. Elsewhere log data indicates elevated TOC, but the Miocene in all penetrations is immature for oil and gas generation. The Miocene is included in this discussion as it may be mature for oil generation within the Honduran Borderland basins.

Eocene derived oil and source rock occurrences

Evidence for Eocene-derived oil in the region comes from the three DST that were undertaken at the Main Cape 1 well where oil was also brought to surface. Recent analysis commissioned by BG found waxy crude (Figure 7) which was tied at the time of the drilling campaign to the Tertiary Punta Gorda formation. The Punta Gorda formation is a high-TOC carbonate-rich shale, with a significant plant debris input, deposited in a restricted marine carbonate environment. There is no reason to dispute these early observations.

On closer inspection, the oil also carries many of the characteristics of Tertiary lacustrine source rocks, namely: a limited pentacyclic triterpane and characteristic tricyclic triterpane distribution, and abundant oleanane (Figure 8.) A similar character is displayed in Tertiary oils from rift basins in North Sumatra (Geological Society Special Publication 77). The early fill of some of the Tertiary Upper Nicaraguan Rise basins was initially lacustrine.

Where penetrated (Coca Marina 1) the precursor source is often barely mature, this is seen in the Main Cape #1 DST samples with mortane ( $\beta\alpha$  hopanes) still being present, and sterane S-to-R isomerisation not advanced, therefore an early oil window setting is envisaged for the Eocene source.

The Coca Marina #1 well (drilled in 1969) encountered some 770m of rich Middle Eocene (Punta Gorda Formation) source rock (with oil shows) (Figure 9). The same source interval is found to the south in many of the Nicaraguan wells and this interval is also believed to be the time equivalent of the Litchfield-Chapleton Formation onshore Jamaica. The Litchfield-Chapleton Formation is also a thick and robust source unit encountered in the Content #1 well (650m) (Rodrigues, 1991), and at outcrop onshore Jamaica.

Eocene source rocks have been widely reported across the Nicaragua Rise, therefore the Eocene oil occurrences in the Main Cape #1 well and onshore related to the Lempira #1 well are supported.

Cretaceous-derived oil and source rock occurrences

A second, more mature oil was also recorded in the Main Cape #1 well, and additionally encountered in the onshore La Pure seep. The oil represents an earlier generative product from an older source thought to be Upper Cretaceous in age (most likely Turonian, a La Luna equivalent), and was degraded prior to a later charge resulting from a later heating event.

This second oil family possesses no oleanane, has a far more complicated triterpane distribution including elevated C35 pentakishomohopane epimers and gammacerane. It is also far more mature based on sterane and triaromatic steroidal hydrocarbon distributions. This Main Cape oil is thought to have been generated from source rocks that reached the late zone of oil generation, whilst the La Pure seep (onshore) was generated from (Upper) Cretaceous source rocks that reached peak oil window maturities. The literature surrounding the Main Cape oil types held by SERNAM<sup>1</sup> also includes analysis by other oil and service companies describing the older oil and the likelihood of mixing.

Until recently the Upper Cretaceous source rock penetrations have been ignored. Our work identified on Wire Line data Upper Cretaceous source rocks in the Gracias a Dios, Castana, Turquesa and Diamante wells. There are also shales recorded in Mobil's Turquesa #1 well with TOCs up to 8.5%, however there is no accompanying Rock Eval. or extract data, or indeed samples material to further characterise this marine source rock. Vitrinite reflectance (Ro%) data indicates that the Upper Cretaceous is immature at this location.

Apto-Albian source rocks are also found throughout large parts of the western Caribbean, but with the limited data available it is not possible to constrain its occurrence offshore Honduras. There are several wells to the immediate southwest of the Patuca basin with shows recorded in presumed lower Cretaceous rocks on the Mosquitia High, and it is entirely conceivable there is also Lower Cretaceous Upper Nicaraguan Rise geology (and source). The presence of a deeper Cretaceous source remains unknown, however regionally the Lower Cretaceous is a potent and ubiquitous source. If present in the Honduras offshore setting it is thought to be overly mature, though may provide some gas drive.

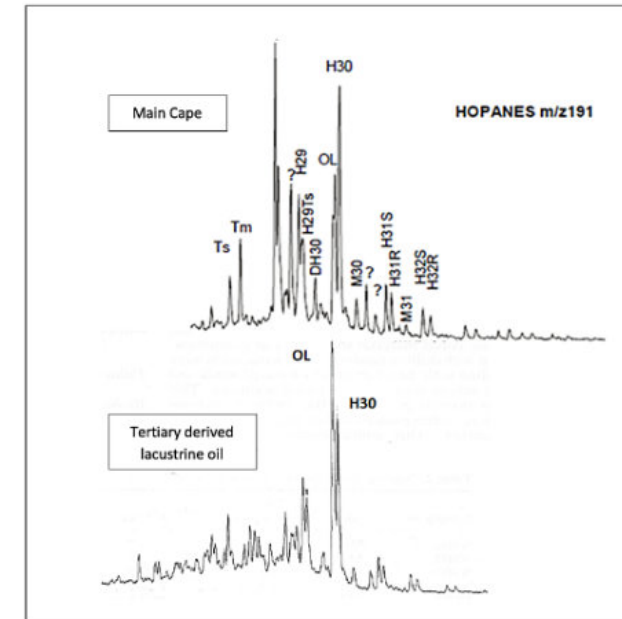


Figure 8. Main Cape oil (1) vs Tertiary lacustrine oil (Analysis by Newcastle University) compared to known lacustrine oil from similar extensional Tertiary rift basin setting (Analysis by LEMIGAS).

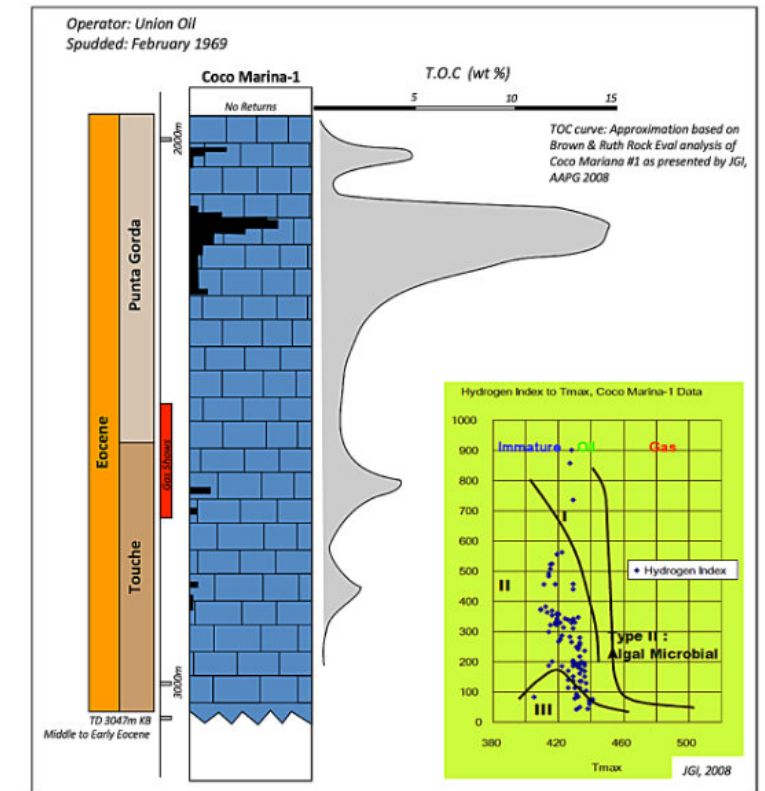


Figure 9. The Punta Gorda source succession, Coco Marina well, Mosquitia Basin, derived from Union Oil/Brown & Ruth data held by SERNAM, Honduras.

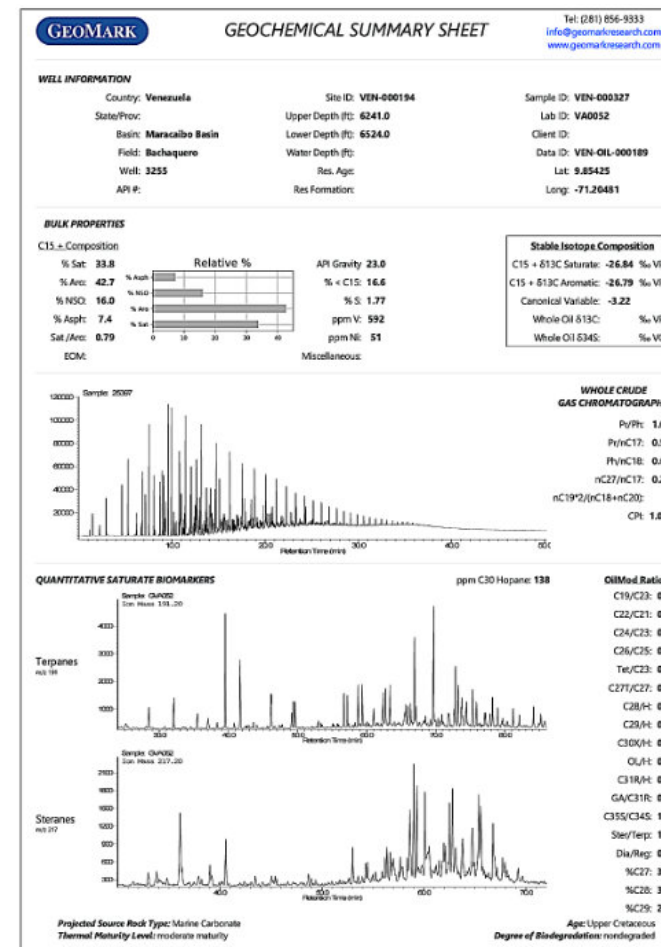


Figure 11a. Maracaibo oil data summary sheet, (GeoMark Research, biomarker guide).

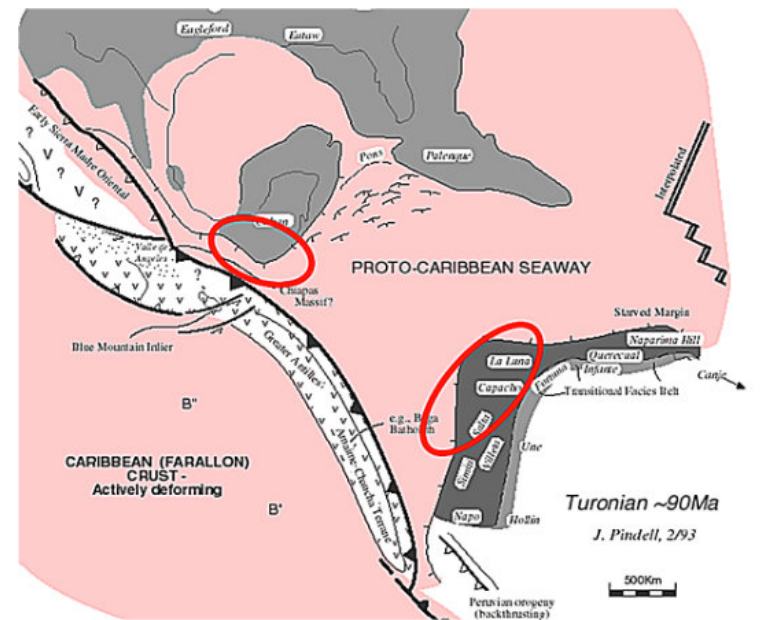


Figure 10. Northern South America block, the proto-Caribbean seaway and the Chortis block circa end Cretaceous (Pindell, 1993).



There are also documented Lower and Upper Cretaceous source rock occurrences onshore throughout the region. The onshore Upper Cretaceous Guare member of the Jaitique formation is one such occurrence. The Guare member is a thin-bedded, laminated, bituminous limestone containing the occasional fossil fish which may represent a shallow lagoon, intertidal mud flat to shallow marine environment. This may have been the shallower more proximal setting to a greater La Luna type source environment, within or on the flanks of the Proto Caribbean Sea. This greater La Luna type source environment occurred at the time Chortis was moving from its coast-parallel eastern Pacific position into the proto-Caribbean region (Pindell et al, 1993).

The presence of La Luna type source rocks, as evidenced by the biomarker data on Chortis, either dates the arrival of Chortis or may suggest that the Chortis, Siena and CLIP were already in place, attached loosely to the North American Plate.

The shallow seas linked the South and North American plates and were likely closed to the East by the processing Antilles Arc, and perhaps to the west by an advancing arc which is now the Pacific Margin, thus preventing ocean circulation and thereby enhancing source rock development. On the southern side, rich source rocks (the La Luna source) developed in these shallow carbonate-rich epicontinental seas; the same is thought to have occurred on the northern periphery of this shallow sea (Figure 10 and Figure 11a & b). The alternate consideration is that the greater Chortis area was part of the North America plate.

The Upper Cretaceous oil-rich Guare member is not the source of the La Pure or Main Cape oils, with the nearest match in fact being the oil from the then opposite margin (perhaps mirror) of the proto Caribbean Sea, providing strong evidence for this greater La Luna type source environment (Figure 12). Further geochemical work is required to analyse the shows, if available, from the Cretaceous well sections and possible source rocks in other Upper Nicaraguan Rise well penetrations and onto and around Jamaica.

The geochemical data and findings suggest that Chortis has a close affinity to the North American plate, contrary to the commonly accepted position, therefore more work is required.

**Upper Nicaraguan Rise Oils compared to recent Western Caribbean oils data**

An attempt to determine the character of the precursor source rocks to the oils found on the Upper Nicaragua Rise was undertaken by examining other oils in the greater region. Stable carbon isotope ratios ( $\delta^{13}C_{\text{‰}}$ ) for oils and oils data collected throughout the region were compared to the Honduras oils using a conventional Sofar plot, again the bulk of the Main Cape #1 oil and the Lempira #1 well head location samples are clearly Eocene in origin, whilst the residual early oil in the Main Cape #1 well and the La Pure seep oil have Upper Cretaceous (Turonian) affinities (Figure 13).

Three Jamaican source rock types were recognized from analysis of well data (Matchette-Downes et al 2004): a mid-Eocene, an Upper Cretaceous and an Upper Jurassic source.

The mid Eocene Chapleton-Litchfield source is thought to be time-equivalent to the Punta Gorda Formation to the west. Both sources contain large quantities of terrestrially derived material, however in the east the source shales were deposited in a marine environment. Neither the Jamaican Oxfordian-derived oil (Windsor #1, figure 6) nor the Uppermost Cretaceous source character appears to the west.

Further Cretaceous derived oil found in seeps in 2019 suggests both the Lower and Upper Cretaceous contain active sources, but at the time of writing no data for these seeps has yet been made public. Re-evaluation of the Windsor #1 well data revealed two oil families, the shallower having affinities to other AOE 1 oils in the greater region (figure 6).

**Seabed core data**

The Patuca basin located in the Borderlands region (Figure 1), north of the Mosquitia High has no well penetration. However, analysis of the seabed core data in the Patuca basin (obtained by the BG group) confirms the two-oil-signature (Eocene and Cretaceous) observations discussed above (Figure 14). Both a mature light hydrocarbon and a heavy unresolved hydrocarbon are evident within the whole extract gas chromatography. The deeper Albian section may also be contributing some gas.

GCMS analysis of the data (table 1) also reveals two distinct maturity signatures. However, as there was limited sample material and few data points, the interpretation cannot be taken further. Five samples (only) were selected by BG for GCMS, but the project never completed due to the sale of the company while the analyses were in progress.

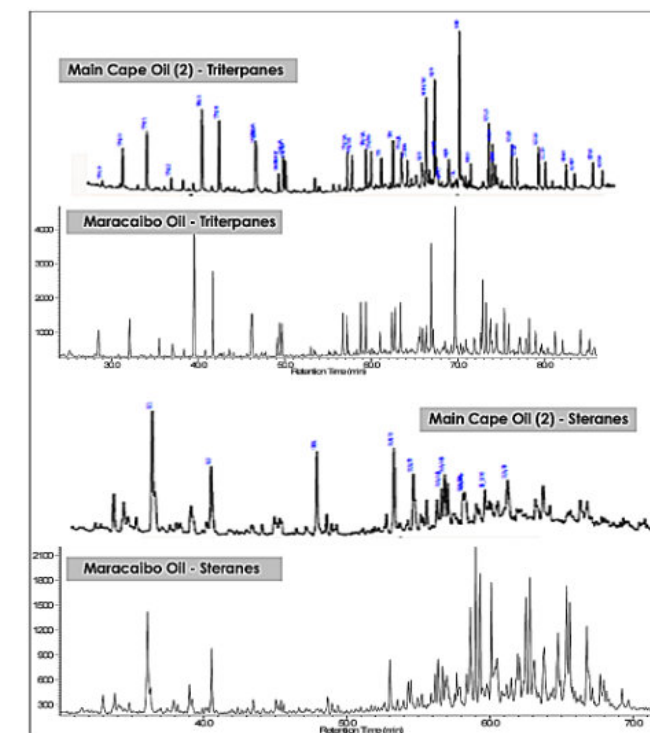


Figure 11b: Main Cape and Maracaibo oil compared. Main Cape oil (2) oil triterpanes, steranes, stable isotope ratio ( $\delta^{13}C_{\text{‰}}$ ), elemental sulphur (S), compared to a typical Maracaibo oil.

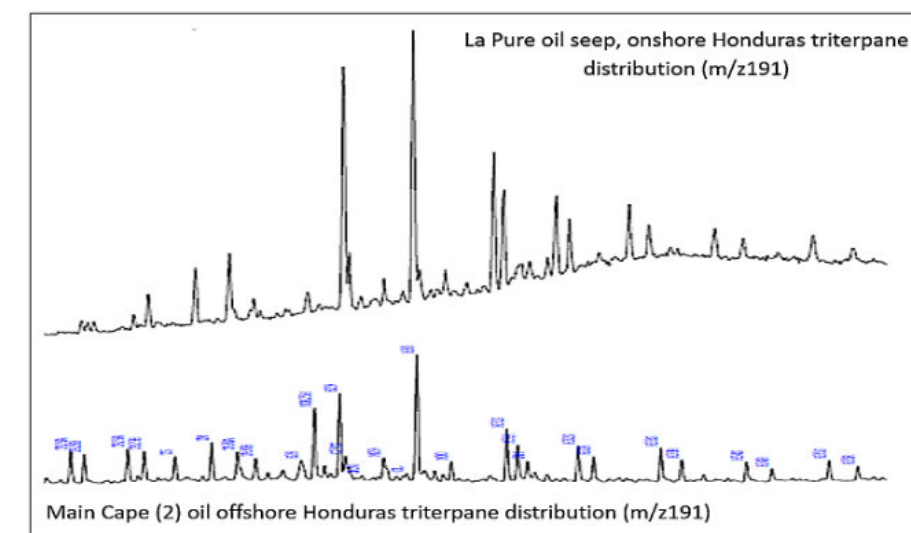


Figure 12. Main Cape Oil (2). (Analysis by GeoChemicalSolutions) and La Pure seep, onshore (analysis by Newcastle University) triterpane M/z 191 distributions compared.

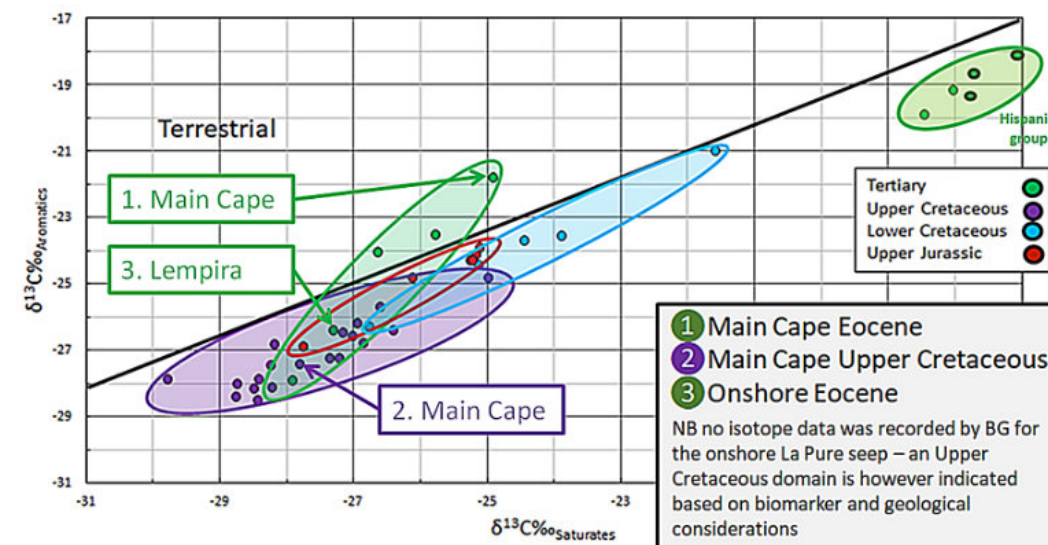


Figure 13. Caribbean Petroleum System (CaribX and MDOIL oils collection/ data bases).



1) Methyl Phenanthrenes - soluble in water so an unreliable ratio							
Location	P	3	2	9	1	2&3	
PC22-15	49061	2353	3719	2480	2070	11476.08	54794
PC35-03	62039	4047	5942	4142	3663	18879.21	71873.3
PC77-14	51659	5527	7883	4628	4880	25344.9	63639.08
PC196-10	108663	7078	9199	5914	5199	30763.53	122665.4
PC202-14	43759	4236	6823	3897	3702	20901.51	53333.74
PC204-10	44028	3596	4445	2913	2091	15197.49	50333.04

2) Sterane isomerisation - measuring just background immature sterane isomerisation				
	C29AAR	C29AAS	S/S+R	
PC22-15	232.9	31.7	0.12	immature
PC35-03	507.3	51	0.09	immature
PC77-14	2074.3	286.4	0.12	immature
PC196-10	20219.1	2554.6	0.11	immature
PC202-14	2706.9	257	0.09	immature
PC204-10	5460.6	1206.7	0.18	immature

3) Triaromatic steroidal hydrocarbon ratio - An indication of type of oil reaching the surface	
Location	Light oil condensate and black oil appear to be present
PC22-15	
PC35-03	
PC77-14	
PC196-10	
PC202-14	
PC204-10	

Table 1. GCMC maturity data

**Basin modelling**

The numerous lines of clear evidence for source rock presence offshore Honduras have been presented in the discussion above, however the horst and graben structure of the region and limited well coverage make it difficult to quantify their areal and vertical distribution. Early basin modelling work (Trinity™ and Genesis™) demonstrates that significant quantities of oil can be generated (Figure 15). Both the Mosquitia and the Patuca basin appear to have access to source rocks which are Tertiary and Cretaceous in age.

Very high heat flow values were recorded within the Patuca and Niobe basins (there were 12 acceptable measurements taken, 10 of which ranked good to excellent and 2 fair in terms of data quality). The values ranged from 50 to 90 mWm<sup>-2</sup> with the highest value being over the largest carbonate structure in the Patuca basin. These

values are high but expected in this extensional setting. As a consequence of the high heat flow, the Eocene source is predicted to be in the oil window and Upper Cretaceous sources will be in the late oil window. To the south, on the Mosquitia High and within the Mosquitia basin, the limited TAI and Ro% data indicate lower thermal stress. Generation within the Patuca and Niobe basin is interpreted to be very late, starting in the Pliocene and continuing to the present day. The key reservoirs are at or above pasteurisation temperatures and are thought full to spill.

Miocene sources are yet to be examined in detail, but may be mature for oil within the Patuca and Niobe basins due to the very high and recent heat flux.

**Results**

The results of the oils, wells and core analysis all clearly indicate the presence of at least two source rock assemblages across the Nicaraguan Rise. The first is the regional Upper Cretaceous source system which is equivalent to the classic Turonian, AOE2 source rocks found on the northeast coast of the South American plate, such as the La Luna. A secondary, but potent Eocene source system developed in the sub basins across the Nicaraguan Rise.

The recognition of the presence of La Luna equivalent source rocks on the Chortis block brings into question, at the very least, the timing of the arrival of Chortis, and perhaps, more fundamentally, the fact that the Chortis, Siena the CLIP may well have always been in place with the majority of the movement occurring to the north along the Montague-Polochic-Swan Islands Fault System.

**Hydrocarbon Potential Overview**

The Patuca, Mosquitia and Niobe basins each present differing degrees of potential for hydrocarbon exploration.

**Mosquitia Basin**

The Mosquitia basin has a proven hydrocarbon system, with source likely provided by two intervals. Great thicknesses of the Eocene Punta Gorda source rock have been encountered in several wells. There is also clear evidence for an older oil which is thought to be of Upper Cretaceous age in origin.

The Main Cape-1 discovery well produced 38° API gravity oil (3 DSTs and oil in the mud pits), the DST 3 oil appears to be Eocene in origin and the DST 2 oil pre-Tertiary. The well was drilled at the toe of the Main Cape structure; however the limited and poor seismic dataset which covers the discovery prevents mapping the full extent of the closure. The sparse 2D dataset provides indications of additional leads in the Eocene carbonates both structural and stratigraphic; however a modern 3D dataset or 2D infill campaign would be required to unlock the full potential of a sparsely explored basin which has a proven hydrocarbon system.

The Miocene source interval is immature in the Mosquitia basin, but may well be mature for oil in the Patuca or Niobe basin.

**Patuca Basin**

The relatively dense 2D seismic grid present across the basin has facilitated the generation of multiple highly attractive structural prospects. The tectonically complex basin has resulted in several high relief structures within

the basin main and along its margins. Analysis of the depositional history of the basin and an evaluation of key analogues would imply the Miocene carbonates which present the key exploration target in the basin, with excellent reservoir potential.

There are no wells within the basin; however the extensive sea bed core extract data clearly displays two oil maturity signatures; therefore two oils, again the Eocene and Upper Cretaceous most likely, or some Miocene-Eocene-Upper Cretaceous combination(s).

The near basin-flanking Castilla #1 well possesses a late Miocene coaly section. Paralic or limnic basin margin facies are envisaged with increasing source potential developing within the Patuca basin in a more proximal setting.

The nearest Eocene source penetrations are found in the Mosquitia basin as previously discussed. Gracias a Dios #1 well drilled on the northern flanks of the Mosquitia High recorded WLL responses indicative of a source rock section of some 85+ m in the Upper Cretaceous, near TD. Recent biostratigraphy examination, by BG Group dates the TD section of the Gracias a Dios #1 in the Upper Cretaceous.

The extremely high heat flow (BG Group) and late generation are likely optimal for charge and charge retention, which combined with favourable migration pathways suggest significant potential for hydrocarbon retention within the large undrilled traps of the Patuca basin.

**Niobe Basin**

A full technical understanding of the Niobe basin is still in its infancy due to the scarcity of seismic across the basin and zero well control. However, initial indications on the seismic which is present are encouraging. Multiple tilted fault block geometries are clearly visible along the basin margins, and potential DHIs within the basin have been identified. Sea bed core extracts indicate the presence of hydrocarbons, and the extremely high heat flows recorded could mean that the younger section (Miocene as well as Eocene) could be mature for oil. Additional data will be required to investigate the true potential of the Niobe basin.

**Conclusions**

Oil occurrences, well penetrations and or outcrop samples at each end of the Nicaraguan Rise point to the presence of a robust, regional source rock of Lower to Mid Eocene age that is highly likely to be present in many yet to be drilled basins across the Nicaraguan Rise.

A younger Miocene source rock, only encountered in the western part of Nicaragua Rise where it is immature for oil generation, may however be mature within the younger, hotter basins that make up the Honduras Borderlands and any eastward extension of this terrain.



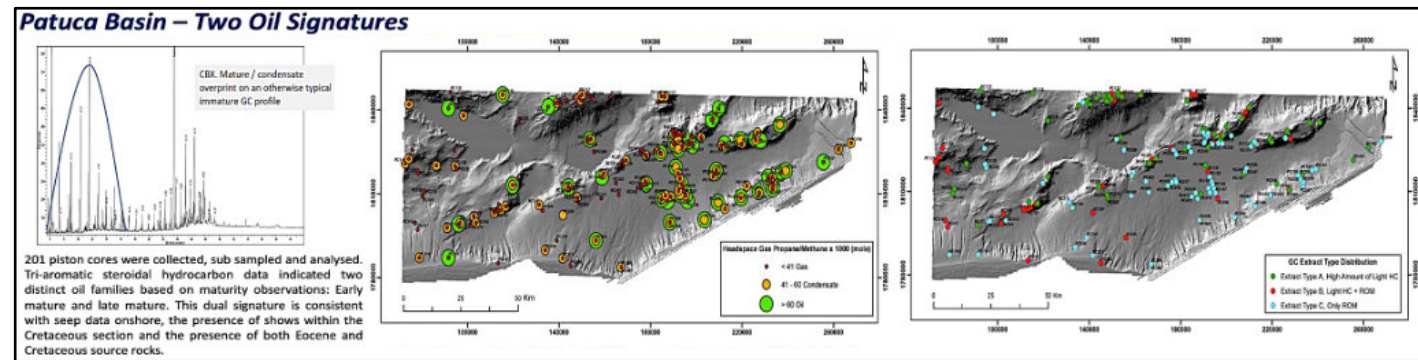


Figure 14: Two oil signatures can be seen both within the headspace gas analysis and whole extract gas chromatography

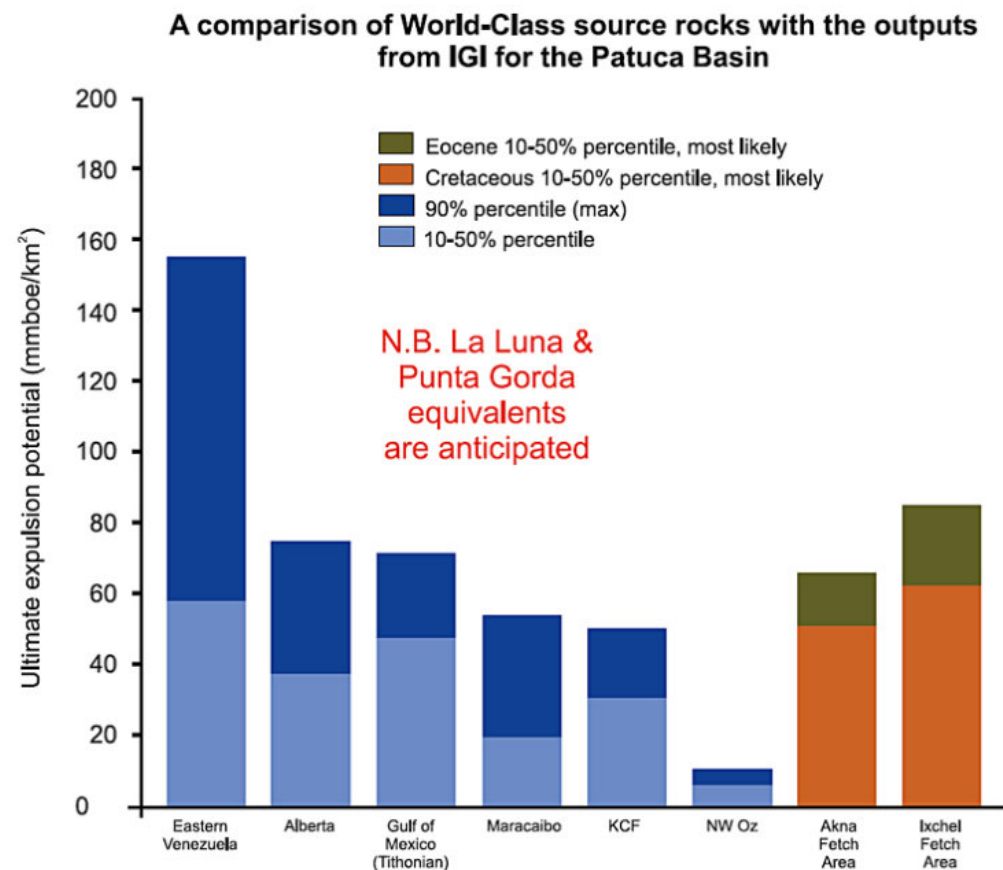


Figure 15. source summary and comparison for the Patuca Basin.

Upper Cretaceous sediments house a significant and regional source unit that is typified by the La Luna formation from the northern South American plate. This Upper Cretaceous aged source has been encountered in 3 well bores offshore Honduras and is responsible for the older Main Cape #1 oil and the La Pure oil seep onshore Honduras. Upper Cretaceous oil is reported on Jamaica, but no data is available for comparison.

Whilst Lower Cretaceous oils have been observed onshore Jamaica, (Windsor #1, shallow section) and reported

elsewhere, no source rocks to date have been penetrated or recorded in outcrop. Such rocks would likely be post mature for oil or gas in Honduras.

Similarly the Upper Jurassic sourced oils from the deeper section in the Windsor #1 well are either not present offshore Honduras or are super mature and all labile material lost.

**References**

Late Cretaceous-Cenozoic tectonic transition from collision to transtension, Honduran Borderlands and Nicaraguan Rise, northwestern Caribbean Plate boundary. Javier Sanchez<sup>1\*</sup>, Paul Mann<sup>1</sup>, Peter A. Emmet<sup>1,2</sup>, <sup>1</sup>Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, Houston, TX 77204, USA, <sup>2</sup> Brazos Valley GeoServices Inc., Cypress, TX 77429, USA.

The Biomarker Guide, Volumes I & II, Kenneth Peters, Clifford Walters & Michael Moldowan, 2<sup>nd</sup> edition 2005.

Pindell 1993 onwards, various kinematic Caribbean reconstructions.

GeoMark Research Eagleford Shale, Sunniland, Smackover and La Luna oils summary sheets, The Biomarker Guide.

CUPET, CaribX oils data, 2011 personal correspondence.

CaribX Oils data base (2009-2019) Main Cape, Lempira, La Pure & Contents oils and extracts, Seabed core data.

Mexico, History of oil exploration, its amazing carbonates and untapped oil potential, 2018, Ivan Sandrea, Rafael Sandrea, Mario Lomón, Karina Vázquez, Andy Horbury & Mark Shann.

A maturity and palaeoenvironmental assessment of condensates and oils from the North Sumatra Basin, Indonesia, Chris Matchette-Downes Geol. Soc SP no77, 1994

GeoExpro 2018, September, Honduras: Yet Another Final Frontier, Chris Matchette-Downes.

Geol Soc London, 2019, The oils and source rocks of the Patuca and Mosquitia basins, Honduras, Chris Matchette-Downes.

Geol Soc London, 2019, The source rock provinces of the Caribbean by recourse to biomarker and stable isotope data assemblages from produced oils, shows and seeps, Chris Matchette-Downes.

BGS/LEMIGAS, 1993, internal publication: Maturity determination in light oils and condensate, Chris Matchette-Downes.

Petroleum Corporation of Jamaica: The petroleum potential of the Jamaican onshore and offshore, the 2<sup>nd</sup> Round, bidding procedures, Terms & Conditions, Stamford Bridge, London 1<sup>st</sup> March 2010, Chris Matchette-Downes.

CaribX (UK) Limited in house seismic, potential field, magnetic, gravity, multibeam bathymetry, satellite seep, seabed core, well data and seep data and interpretation 2009 to 2019.

London: Finding Petroleum, Geological Society, October 21, 2016, Oils and source rocks of the Caribbean Matchette-Downes.

Rio de Janeiro: Global Pacific, Oils Story, Central America and the Caribbean, April 2012, San Antonio: SEG, Petroleum potential of Jamaica, September 2011.

London: Finding Petroleum: The Caribbean, especially Jamaica, 8<sup>th</sup> October 2010 GeoExpro Vo7 No 6: Buried Treasure in Jamaica Pp52 to 56, December 2010.

London: APPEX, The petroleum potential of the Jamaican onshore & offshore, the 2<sup>nd</sup> Round, 1-3<sup>rd</sup> March 2010.

Houston: Petroleum Corporation of Jamaica road show, Petroleum Geology of Jamaica, 30<sup>th</sup> January 2007.

Houston: Petroleum Corporation of Jamaica road show, Jamaica 1<sup>st</sup> round presentation. Jamaica geology & petroleum geochemistry, December 2004.

Cancun: AAPG International, Jamaican oil biomarkers require a re-examination of the petroleum geology of the northern Caribbean, 24-27<sup>th</sup> October 2004.

Houston: Oil & Gas Journal, Jamaica found to have play types analogous to Sumatra & NW Java. Joint paper, 13<sup>th</sup> September 2004.

MDOIL report: The Tertiary source rocks of Jamaica, April 2007.

MDOIL report: Cretaceous source rock potential (Jamaica) field trips report. February, 2007.

MDOIL report: The Cretaceous and Tertiary source rocks of Jamaica, May 2006.

MDOIL report: Petroleum potential of the Saba Bank, April 2006.

MDOIL report: Jamaican oils, 2004.

Approach Geophysics: Honduras Main Cape block geophysical interpretation. PR Roach, 2019 internal report

Pindell, J. L., Kennan, L., Stanek, K.-P., Maresch, W. & Draper, G. 2006. Foundations of Gulf of Mexico and Caribbean evolution: eight controversies resolved. Geologica Acta, 4, 303-341.

Mann, P., Rogers, R. & Gahagan, L. 2006. Overview of plate tectonic history and its unresolved tectonic problems. In: Bundschuh, J. & Alvarado, G. E. (eds) Central America: Geology, Resources and Hazards. Taylor & Francis/, Balkema, 201-237.

Pindell, J. L., Kennan, L., Stanek, K.-P., Maresch, W. & Draper, G. 2006. Foundations of Gulf of Mexico and Caribbean evolution: eight controversies resolved. Geologica Acta, 4, 303-341.

Mann, P., Taylor, F. W., Lawrence, R. & Ku, T. 1995. Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: an example from the northeastern Caribbean plate margin. Tectonophysics, 246, 1-69.



Mitchel S.F. (2004). – Lithostratigraphy and paleogeography of the White Limestone Group. In: S.K. DONOVAN, Ed., The mid-Cainozoic White Limestone Group of Jamaica. – Cainozoic Research, 3, 5-29.

ROBINSON E. & MITCHELL S.F. (1999). – Upper Cretaceous to Oligocene stratigraphy in Jamaica. In: S.F. MITCHELL, Ed., Contributions to geology, UWI, Mona, #4, 1-47.

Rodrigues K., Organic geochemistry and petroleum potential of Jamaica, Journal of Petroleum Geology Vol 14. No., 1991, pp 309-322.

Simon F. Mitchell, Stratigraphy of the White Limestone of Jamaica, Bull. Soc. géol. France, 2013, t. 184, no 1-2, pp. 111-118.

Jamaica found to have play types analogous to Sumatra, NW Java, C Matchette-Downes, NR Cameron. John Milsom, Simon Mitchell, John Zumberge. Raymond Wright, OJ Sept 13 2004.

The Biomarker Guide Volumes 1 and 2, Kenneth Peters, Clifford Walters J Moldowan, 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press, 2005.

A maturity and palaeoenvironmental assessment of condensates and oils from the North Sumatra Basin, Indonesia, CJ Matchette-Downes, AE Fallick, Karmajaya, Scott, AC Fleet, AJ, 9eds) 1994 Coal and coal-bearing strata as oil prone Source rocks? Geol Soc Special Publications No 77 pp.139-148

Dewey, J. F., Holdsworth, R. E. & Strachan, R. A. 1998. Transpression and transtension zones. In: Holdsworth, R. E., Strachan, R. A. & Dewey, J. F. (eds) Continental Transpressional and Transtensional Tectonics. Geological Society, London, Special Publications, 135, 1–14.

Emmet, P. and Mann, P. 2010. Early Cenozoic rift inversion: key to understanding the structural framework and petroleum potential of the Nicaraguan Rise. Paper presented at the America Association of Petroleum Geologist Annual Conference and Exhibition, 11–14 April 2010, New Orleans, LA.

Carvajal-Arenas, L. C., L. Torrado, and P. Mann, 2015. Early and Late Eocene/Oligo–Miocene petroleum system on the Nicaraguan Rise: Insights from basin and three-dimensional petroleum system modelling, in C. Bartolini and P. Mann, eds., Petroleum geology and potential of the Colombian Caribbean Margin. AAPG Memoir 108, p. 615–645.

#### Acknowledgments

The authors of this chapter are grateful for the help and assistance of SERNAM<sup>1</sup> Honduras, since 2009, CaribX (2009-2020) and GeoMark Research, without which this review could not have been written. Please also see geological insight and updates by Mark Shann in July's edition of Revista Maya.

#### Christopher John Matchette-Downes



#### Profile & key information

**2010 to present day:** Director & Consultant Petroleum Geologist CaribX Limited

- Thirty eight years global exploration experience; petroleum geology, well site geology/geochemistry, teaching, business development and project management
- Built exploration teams; secured & worked up UK, African & Caribbean projects
- Set up and promoted Jamaica's 1st and 2nd oil & gas exploration rounds
- Managing for TPDC, the promotion of the 3rd Tanzanian round
- Founder and director of MDOIL Ltd, ([www.mdoil.co.uk](http://www.mdoil.co.uk)) CaribX Ltd ([www.caribx.com](http://www.caribx.com)), Helium Resources Ltd ([www.4he-resources.com](http://www.4he-resources.com))
- Helped start-up company Natural Building Technologies build its UK business
- Former Non-Executive director of Cluff Natural Resources, created its North Sea business
- Identified, confirmed, and pursued exploration opportunities for the Lower Mesozoic Western Indian Ocean oil & gas play and the Upper Nicaraguan Rise oil & gas play
- Baker Hughes (Exlog), BGS, BP, British Gas, Geochem Group, PGS and JEBSCO Seismic
- CGEOL, MSc, BSc.

#### Contact

[cjmd@mdoil.co.uk](mailto:cjmd@mdoil.co.uk)

## EL RADÓN (<sup>222</sup>Rn) UN TRAZADOR NATURAL Y FUENTE DE CÁNCER EN PULMÓN.

### Faustino Juárez Sánchez

Laboratorio de Radiactividad Natural, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior Ciudad Universitaria, Ciudad de México, CP.04510.e-mail: [tino@igeofisica.unam.mx](mailto:tino@igeofisica.unam.mx)

#### RESUMEN

El radón 222 es un radioisótopo radiactivo natural producto del decaimiento radiactivo del radio. Este gas se encuentra en todo el planeta con diferentes concentraciones dependiendo de la geoquímica de cada zona.

Esta característica, le permite que se pueda usar como un trazador radiactivo natural que pueda servir de herramienta para la interpretación de algunos procesos geológicos y geofísicos. Sin embargo, al ser un radioisótopo, continúa el proceso de decaimiento radiactivo emitiendo partículas alfa, por lo que cuando este gas ingresa en seres humanos y animales, se presentan daños en el tejido blando de los pulmones dándolos, constituyendo la segunda fuente de cáncer pulmonar.

En México la mayor parte de las construcciones se hacen con material de origen geológico, lo cual debe ser considerado para la presencia de <sup>222</sup>Rn dentro de las construcciones. La cinética de este gas desde el interior de la corteza a la superficie se puede utilizar como un trazador que permite hacer un seguimiento aplicado aun proceso geológico como subsidencia, subducción y sismicidad.

#### Antecedentes

La exposición de la población a la radiación no puede ser evitada ya que la radiación es un proceso en que las fuentes radiactivas son de origen natural, la mayor fuente de radiactividad natural se encuentra en la misma corteza terrestre, en la cual, tanto en el subsuelo como en la superficie, se tienen minerales que contienen radioisótopos radiactivos como:

<sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>234</sup>Th, <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>H, <sup>222</sup>Rn, <sup>40</sup>K y <sup>210</sup>Po.

La distribución de los elementos radiactivos en la corteza terrestre es debida a la geología propia de la Tierra, los efectos de estos elementos sobre la población se incrementan si el asentamiento de ciudades y poblados es sobre áreas con alto contenido de elementos radiactivos. En el caso de la actividad geológica, los procesos tectónicos y de vulcanismo principalmente, distribuyen y exponen minerales radiactivos durante su actividad en diferentes puntos del planeta; la actividad humana es un proceso de menor escala pero que sin embargo con los procesos de beneficio de los radioisótopos y la extracción de minerales radiactivos han afectado la distribución natural (Juárez, 2014).

La principal fuente conocida de radón que se libera a la atmósfera es la corteza terrestre, en la corteza terrestre, se encuentran cantidades traza de radio que es progenitor del radón, este a su vez al ser un elemento gaseoso pasa a ser un componente que llena los poros del suelo y se difunde por las fisuras ascendiendo hasta incorporarse a la atmósfera, este paso, incluye la incorporación de este gas a las estructuras de casas y edificios.

El radón que ingresa a las construcciones se ve afectado por varios factores, entre los cuales están: el contenido de radio, la porosidad del suelo, el tipo de material de construcción, el contenido de humedad y las condiciones meteorológicas. En México se tienen diferentes condiciones climáticas, existen dos mecanismos por lo que el radón se mueve a partir del suelo, el primero es el movimiento del radón por difusión molecular a través del aire contenido en los poros del suelo, el transporte del radón puede darse por arrastre o por flujo en un fluido, por lo tanto, el radón puede usar el agua o el aire como medio de transporte suficientemente rápido antes de que decaiga por completo.

El segundo mecanismo es mediante un flujo presurizado dirigido, que se crea por la fuerza del aire que se infiltra en las construcciones, el efecto del choque térmico y el desplazamiento del viento sobre las paredes de la construcción. Las fracturas y los hoyos pequeños menores a 0.5 mm son un medio de conexión para la migración y transporte del gas con una presión negativa de 0 a 2 Pascal (Lindmark y Rosen, 1985). Bajo ciertas circunstancias la



alta permeabilidad del suelo puede permitir un flujo suficiente de tal forma que el radón puede entrar a las casas desde una profundidad de 10 m (Nazaroff y Nero, 1984).

La referencia de valor que se utiliza comúnmente en México es la establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, según la EPA, el nivel promedio de radón interior es aproximadamente 1.3 picocuries por litro (pCi/L). Las personas deben tomar medidas para bajar los niveles de radón en el hogar si el nivel es de 4.0 pCi/L o superior.

**Materiales de construcción**

En México a diferencia de Estados Unidos, la construcción de casas se hace a partir de materiales de origen geológico. Una de las fuentes de radón en el interior (indoor) son los materiales de construcción, todos los materiales de construcción naturales contienen <sup>238</sup>U y son por consecuencia, potenciales emisores de radón, algunos materiales tienen alta concentración de <sup>238</sup>U y <sup>226</sup>Ra, un material natural que contiene mayores concentraciones de uranio es el granito, pero también se puede encontrar en otros tipos de materiales locales usados para la construcción como arcillas y algunos concretos ligeros y pesados fabricados con cenizas que contiene uranio, principalmente las que provienen de actividades mineras.

Los materiales de construcción son obtenidos a partir del suelo y rocas que contienen radionúclidos que se encuentran naturalmente en la corteza, la exhalación del <sup>222</sup>Rn predomina en los materiales de construcción (Ingersol, 1983). Los materiales para la construcción de

una estructura contribuyen sustancialmente a la concentración indoor del radón, cuando el contenido de radio es elevado respecto al normal (cerca de 1 pCi/g) (Walsh and Lowder, 1983) y la rapidez de emanación es alta.

**Materiales de construcción empleados en México.**

En la República Mexicana, de acuerdo a los datos del INEGI (2010) la mayor parte de las casas habitación cuentan con piso diferente a tierra y paredes de material sólido como se muestra en la tabla 1, (INEGI, 2010).

Del total de las viviendas en México solo el 6.2% tiene piso de tierra, esto es sin ningún tipo de revestimiento y por lo tanto es la mayor fuente de radón intramuros estos datos se repiten para la mayoría de los Estados de todo el País.

Los materiales empleados varían de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Estado de la República Mexicana
- Disposición del material geológico de acuerdo la geología del lugar
- Clima

La arquitectura y manufactura de los materiales de construcción depende entre otros factores de las condiciones climáticas y socio económicas propias de las comunidades, los materiales de construcción más utilizado se muestran en la figura 1.

Total, de viviendas particulares habitadas, 2010	28,607,568
Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas, 2010	3.9
Porcentaje de viviendas con paredes de materiales sólidos, 2010	86.3
Porcentaje de viviendas con piso de tierra, 2010	6.2
Viviendas particulares habitadas con piso diferente de tierra, 2010	26,224,791

Tabla 1. Datos del Censo 2010 del INEGI de los Estados Unidos Mexicanos.

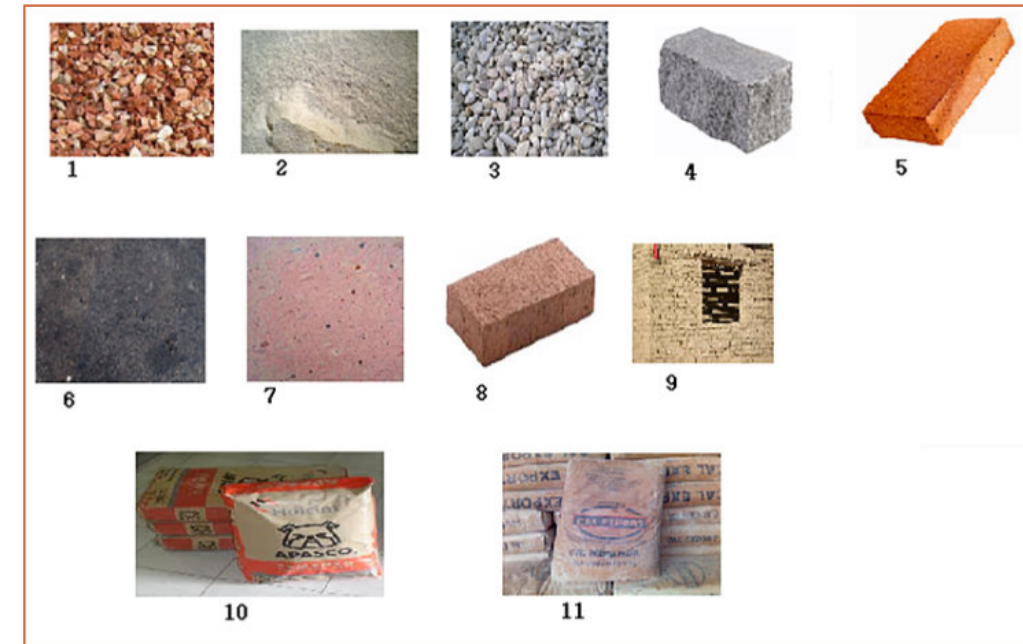


Fig. 1. Materiales de construcción más usados en México.

**En donde:**

1. Gravas riolíticas
2. Arena Azul
3. Grava Azul
4. Tabique ligero
5. Ladrillo rojo
6. Cantera oscura
7. Cantera rosa
8. Adoquín rojo
9. Adobe
10. Cemento
11. Cal

En la región sureste la construcción emplea material de calizas compactadas y las construcciones en áreas rurales y parte de la ciudad conserva la arquitectura Maya tradicional con casas circulares y techos de palma altos, lo cual genera un gradiente de temperatura, favoreciendo una temperatura menor en la parte inferior del interior de las casas y mayor en el techo de esta. Este tipo de diseño de construcción (Fig. 2) favorece uno de los mecanismos de emanación de radón contenido en las rocas.



Fig. 2. Casa típica en Mérida, Yucatán. Conserva arquitectura Maya antigua.



**APLICACIÓN COMO TRAZADOR NATURAL DEL <sup>222</sup>Rn EN ESTUDIOS DE SISMICIDAD**

En geología, una falla es una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano.

Para ejemplificar esta aplicación se tiene el estudio realizado en una falla geológica en la alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México, el área estudiada se encuentra a las faldas del Cerro denominado Peñón del Marqués, se abrió la tierra como consecuencia de los terremotos, el reblandecimiento del suelo por las lluvias y la pérdida de agua en el acuífero (subsistencia).

La actividad tectónica, sísmica o de subducción provoca que se dé inicialmente un microfracturamiento, que es importante para la liberación del radón contenido en las rocas, al quedar libre este gas, puede ser detectado por los detectores adecuados, sin embargo, algunos de estos métodos se ven afectados por las condiciones ambientales y por lo tanto su respuesta variara.

En este estudio, se emplean detectores de estado sólido conocidos como CR-39, es ubicaron dentro de la falla que en este trabajo se llamara falla cascada. Y otro punto de

monitoreo a mitad del Peñón del Marqués en donde se encuentra un balneario, desde este punto a la grieta abierta ubicada a 50 m de una distancia de 280 m, atravesando la Av. Zaragoza.

**Lugar de Estudio**

Iztapalapa se localiza en el oriente del Distrito Federal. Posee una superficie de 117 km<sup>2</sup>. Limita al norte con la Iztacalco; al poniente, con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán; al sur, con las delegaciones Tlahúac y Xochimilco; y al este, con los municipios mexiquenses de Netzahualcóyotl, La Paz y Valle de Chalco Solidaridad (Fig.3).

La falla en estudio se muestra en la Fig. 4, esta falla atraviesa la Av. General Ignacio Zaragoza en la cual se aprecian los efectos debido a la formación de zonas de vados. Esta área de estudio se encuentra inmersa a su vez en la denominada Faja Volcánica Transmexicana (FTVM). El cerro del Peñón del Marqués es un volcán monogénico, la zona se encuentra formada por escorias volcánicas provenientes del mismo, se observa un asentamiento muy notorio en la parte norte del edificio, así como derrumbes. La parte abierta de la grieta se encuentra dentro del Deportivo La cascada en las coordenadas 19°22'48.23"N, 99° 1'32.29"O.



Fig. 3. Ubicación de la zona de estudio.



Fig. 4. Área de estudio

El Peñón del Marqués constituye un acuífero en rocas volcánicas fracturadas y materiales piroclásticos del Pleistoceno, similar al Cerro de la Estrella y a la Sierra de Santa Catarina. En sus alrededores existe un acuitardo en materiales lacustres originados por el depósito de material fino, principalmente, en las antiguas zonas de lagos.

**Distribución de las fracturas**

La Figura 5 muestra la distribución de fracturas en el área del Peñón del Marqués y sus alrededores.

Para la cuantificación del radón emanado en la zona de estudio se seleccionó la zona de acuerdo con la información recopilada y se ubicaron los puntos en el Cerro del Peñón del Marqués concretamente dentro de las instalaciones del balneario Elba y en frente de este en la



Fig. 6. Dispositivos usados en esta investigación.

unidad deportiva La Cascada. Se colocaron los NTD dentro del vaso para mediciones al aire y dentro de tubo de PVC tapado por un extremo para medir las emanaciones provenientes del suelo (Fig.6).

Los resultados obtenidos de las concentraciones de radón se compararon con la actividad sísmica en el mismo periodo del monitoreo de radón, los datos obtenidos se muestran en las gráficas 1 y 2.

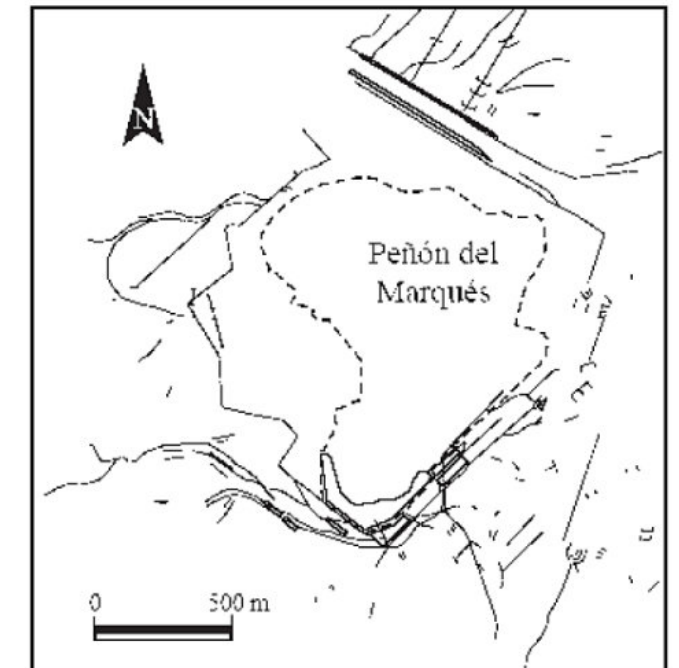


Fig. 5. Distribución de las fallas en el Peñón del Marqués

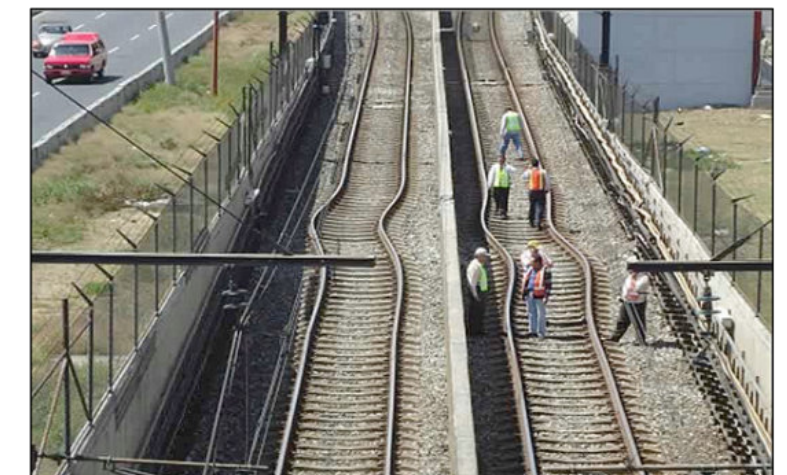


Fig. 7. Daño causado por el sismo de enero 2012 en vías del metro sobre calzada Zaragoza.



## Conclusiones

Como se puede observar, el radón 222 resulta ser un contaminante de riesgo para la salud humana, máxime que, en nuestro caso como población mexicana, predomina el uso de materiales de construcción de origen geológico, pero a la vez es un trazador radiactivo natural que puede ser empleado en procesos de investigación de efectos geológicos y geofísicos.

Los resultados obtenidos en la falla geológica son interesantes ya que al haber coincidido la alta actividad sísmica con el monitoreo continuo del lugar se observa una elevación en la concentración de <sup>222</sup>Rn (gráfica 2), lo que al comparar con la gráfica 1 referente a la sismicidad hay una relación directa en ambas, sin embargo, debido a que los detectores son pasivos no se puede definir la fecha exacta del incremento de la actividad sísmica.

El conocer oportunamente los niveles de radón en los que vivimos nos permitirá minimizar a la segunda fuente causante de cáncer de pulmón, ya que al conocer las

fuentes de este gas, permitirá definir las barreras adecuadas que eviten en lo posible la acumulación de este radioisótopo en los interiores de las construcciones.

## Referencias

INEGI, 2010. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>

Juárez F. 2014. Estudio de <sup>222</sup>Rn en Intramuros Mediante Detectores de Trazas Nucleares Sólidos. Tesis Doctoral. UAEMex.

Lindmark, A., Rosen, B." Radon in soil gas exhalation tests and In-situ measurements." Sci. Total Envir., 45, 397, 1985.

Walsh P. J. and Lowder W. M. Assessing the Risk from Exposure to Radon in Dwellings. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY

## Faustino Juárez Sánchez



- Doctorado en Ciencias por la UAEMex
- Doctorado en Educación por la Universidad Insurgentes
- Candidato a Doctor en Ciencias Química en la Facultad de Química, UNAM
- Maestría en Ciencias Nucleares en la Facultad de Química, UNAM
- Ingeniero Químico Metalúrgico en la Facultad de Química, UNAM
- Jefe del Laboratorio de Radiactividad Natural del Instituto de Geofísica, UNAM
- Profesor de asignatura en la Facultad de Química, UNAM
- Disciplinas de investigación: Geoquímica nuclear, Química ambiental, Geominería, Exploración Geofísica, Metalurgia Extractiva, Química Analítica.
- Capacitador acreditado ante la Secretaría de Trabajo y Previsión Social
- Cursos recibidos: 53
- Cursos impartidos: en el extranjero: 43

## El perfil geológico de Cuba occidental entre el macizo metamórfico Pinos y el Golfo de México.

**Humberto Álvarez-Sánchez**

Consultor Internacional

### Introducción.

El presente artículo es una sinopsis de la geología entre la costa sur del Macizo Metamórfico Pinos y la costa norte de Cuba occidental (Figura 1) (Álvarez-Sánchez, 1981) basada en geofísica disponible desde los años 30; viejos pozos de petróleo, geología de superficie y una continuación analítica del Gradiente Total Normal de la Gravedad (Díaz Duque, 1980, 1989) con la interpretación de puntos del potencial gravitatorio, situados en el contorno o el interior de las masas perturbadoras.

El perfil (Figura 2) contiene información sobre el Macizo Metamórfico Pinos (MP). El Golfo de Batabanó. El Alto del Guanabacoa. Las Zonas Los Palacios y San Diego. El Cinturón Metamórfico Cangre y la Sierra de Los Órganos.

### Macizo Metamórfico Pinos

El Macizo Metamórfico Pinos (MP) junto al Macizo Metamórfico Escambray, considerados ambos equivalentes de la Cordillera de Guaniguanico de Cuba occidental [31,54,42,8,63,64,23,36,37,39]; forma parte del cinturón metamórfico del sur de Cuba (Figura 3). Datos del GTN, bajo el MP, indican la profundidad de Moho a los 28 km con un buzamiento suave hacia el Norte y aumento del espesor de la corteza. Al sur de la isla, cubierta por Neógeno, parece disminuir la potencia del MP y de su zócalo cristalino. El campo gravitacional con  $\pm 20$  mGal, aumenta al sur hasta  $>100$  mGal, hecho que admite varias explicaciones. Entre ellas, una falla de pendiente NW y la inmersión bajo el MP de un complejo de rocas densas derivados de corteza oceánica, basado en el propio campo G sin procesamiento alguno. La columna carbonato-terrigena del MP corresponde a la sección baja de la Sierra de Los Órganos. Los mármoles del Grupo Gerona correlacionan con el Grupo Viñales ( $J_{3K1}-K_{1TU}$ ) y los metaterrígenos Cañada y Agua Santa con la Fm. San Cayetano ( $J_1-J_{3OXf}$ ). La concordancia de la Fm. Bibijagua con los metaterrígenos subyacentes en el MP, corresponde a las secciones carbonáticas Sierra de Los Órganos sobre la Fm. San Cayetano.

No obstante, la sección sedimentaria, equivalente a Guaniguanico, solo contiene materiales jurásicos. Metamorfitas del Cretácico no se conocen allí; mientras en Guaniguanico abundan las formaciones del Cretácico y hasta Eoceno Inferior. Un explicación es que su corte estratigráfico se encuentra truncado por un cabalgamiento del Arco Volcánico Cretácico (AVC), aflorado en Sabana Grande al norte de la isla. Otra explicación es la inserción del proto-macizo Pinos en cierta dirección bajo "algo", tan rápidamente en términos geológicos (transgresión tectónica), que fue apartado de la esfera de la sedimentación, mientras en Guaniguanico continuaba y una parte importante sufría

metamorfismo de alta presión en la Faja Cangre. Mientras "Pinos" se hundía a la catazona; vulcanitas cretácicas, resultaron la única cobertura tectónica sobre las metamorfitas.

Otros elementos estratigráficos del MP destacan su actividad magmática: las Anfibolitas Dagulla, pórfidos ácidos y riolitas, cuarzo-pegmatitas; gneiss, anatectitas sinmetamórficas [44] y las serpentinitas de la región de Santa Fe [54], asociadas con esquistos y mármoles. Millán (1974) describe tres fases de plegamiento sucesivo y hasta una cuarta [39] en una misma fase orogénica, expresadas por formas complejas de pliegue, incluso mantos tectónicos destacados en la Sierra de Casas. Según Equipko *et al.*, 1975; en el MP sucedió un metamorfismo barroviiano de presiones y temperaturas medias, desde la facies de esquistos verdes de T baja, hasta T más alta anfibolítica e indicó que los granitoides insertados en las silimanitas del NW de la Isla, resultaron de la fusión anatética, de los metaterrígenos ( $T \pm 600-700$  C° y  $P \pm 4$  a  $7$  kbar), primera referencia a este proceso en la región. Datos posteriores indican T de  $750$  C° y P de  $11 \pm 12$  kbar para las metapelitas y migmatitas de alto grado y descompresión y emplazamiento de trondhjemitas por fusión de metapelitas; acompañadas por tectónica sinmetamórfica Cretácico Superior ( $68 \pm 2$  Ma;  $40Ar/39Ar$ ) [24].

### Golfo de Batabanó

50 km de mar somero separan el MP de la costa sur de Pinar del Río. Formaciones cretácicas bajo una cobertura de rocas jóvenes se conoce desde los años 30 [31]. El mapa gravimétrico de Cuba [57] muestra un campo gravitacional positivo en el Golfo de Batabanó, incluido en la Zona A de máximos gravitacionales de Cuba sur [49]. Dentro de esta Zona se encuentran los máximos locales Guanabacoa (108 mGal) y Batabanó (88 mGal) (Figura 1) al parecer conectados y situados dentro de un campo positivo de 72 mGal [49,62].

El máximo Guanabacoa, va de 80 mGal en el mar y su máximo central de 100 mGal en tierra firme. Según Soloviev *et al.*, 1964, la zona central de máximos es un bloque elevado entre valores deprimidos por el norte y sur. Toucet *et al.*, 2005 citan resultados sísmicos en concordancia con los campos potenciales, gravimétrico y magnético que sugieren dos zonas deprimidas separadas por un elevado aproximadamente en el centro del área. Prol y Rifá y Toucet *et al.*, 2005, concluyen que la zona de máximos, bajo cobertura sedimentaria poco potente corresponde con rocas volcánicas y ultrabásicas y el Máximo Guanabacoa representa un cuerpo potente de rocas del arco volcánico cretácico. El complejo volcánico aflora en Sabana Grande (MT) y aumenta su potencia hacia el norte. Pero la composición volcánica de la región marina se atestigua por otras numerosas evidencias. A partir del Campaniano la sedimentación en las zonas San Diego y Los Palacios casi exclusivamente se derivan del Arco Volcánico Cretácico.

Al norte del MP y al sur del Máximo Guanabacoa, una secuencia de valores de +40 a +50 mGal se relaciona con el gran máximo magnético de +600 Gammas, medido en esta región (Figura 1). Dickerson, 1934, interpretó la secuencia de valores como un macizo granítico o en general sílico en la región sumergida entre el macizo Pinos y la costa Sur de Pinar del Río; presentado en un bloque diagrama de los años 30 conservado en el Fondo Geológico de Cuba.



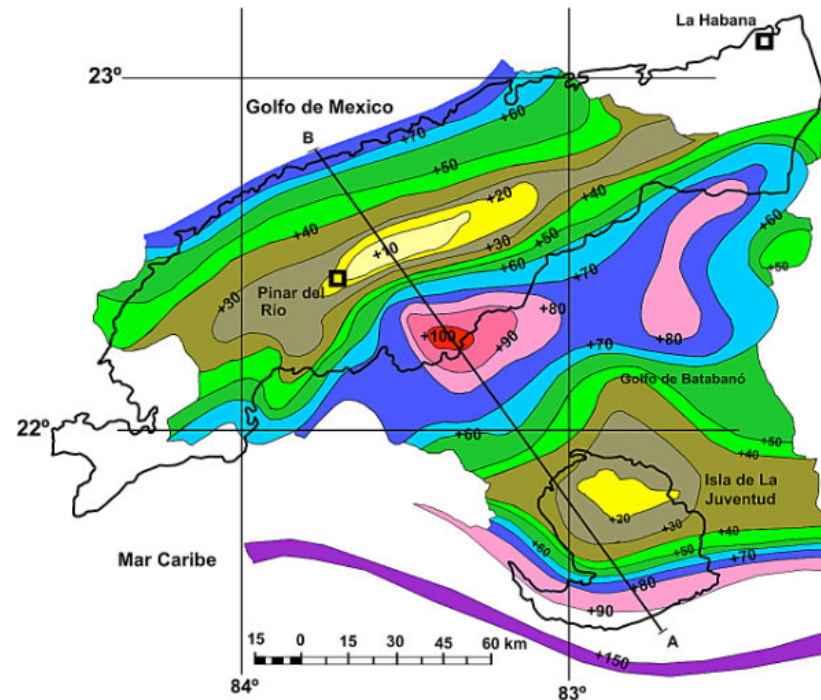


Figura.1. Trazado del perfil estudiado sobre el mapa de las anomalías de la gravedad con la corrección de Bouguer (según Soloviev et al., 1963) (Gráfica del autor, 1981).

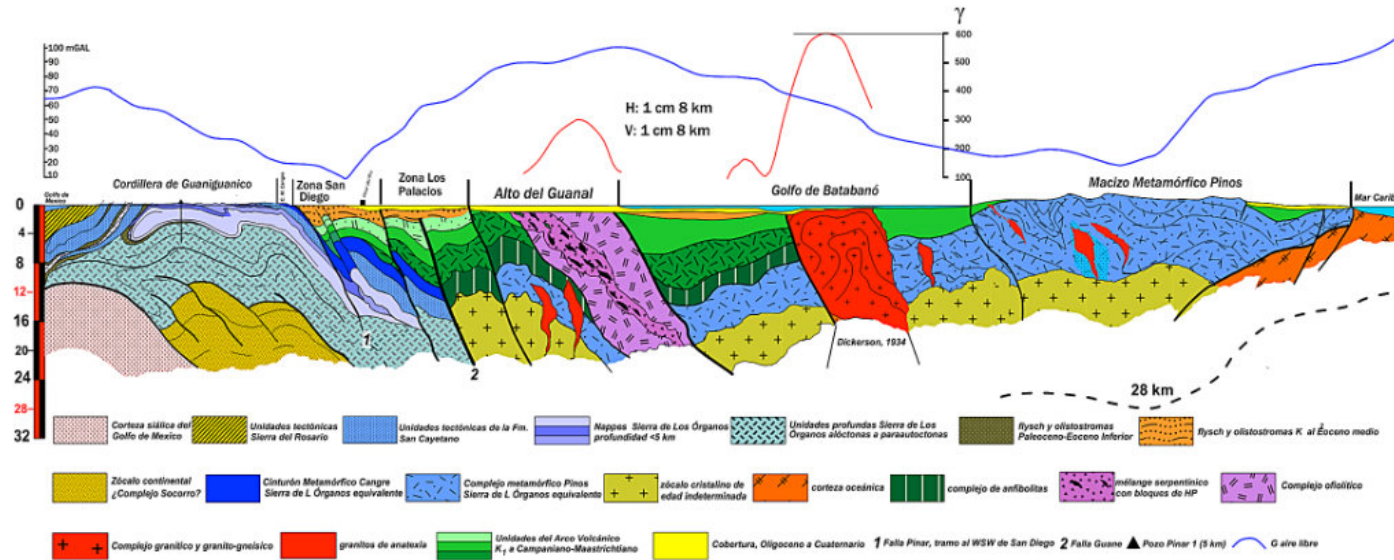


Figura.2. Perfil estudiado mediante la compilación y síntesis de datos geológicos y geofísicos. La potencia de varias estructuras del complejo volcánico están exageradas en interés de la visualidad del concepto, pero no alteradas en su posición y relaciones (Redibujado de Álvarez-Sánchez, 1981; con datos analíticos de GTN de Díaz Duque, 1980).

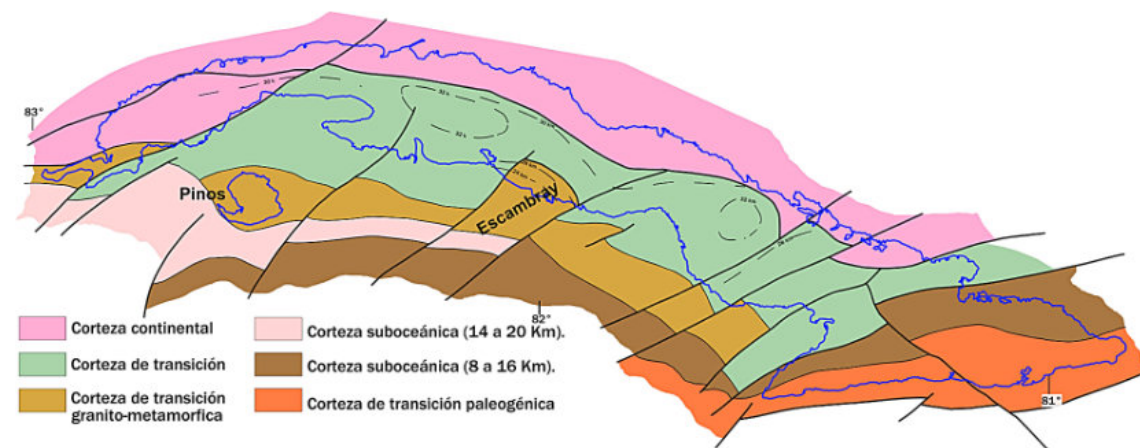


Figura.3. Mapa de los tipos de corteza terrestre de Cuba según datos geólogo-geofísicos. Modificado de Pushcharovsky, et al., 1987. (Ligeramente modificado de Vtulochkin; Mossakovsky; Nekrasov y Solokov en el Mapa Tectónico de Cuba 1: 500,000 de 1989).

En la continuación analítica del campo gravitacional del GTN [16,17]) el cuerpo supuesto por Dickerson, se destaca por rodearse de límites borrosos entre "capa basáltica y granítica", aumento del espesor cortical e indefinición de la discontinuidad de Moho. Estos datos son coherentes con refusión o granitización de la corteza y un extenso complejo plutónico, quizá parcialmente metamorfozado, cuyos afloramientos suministraron clastos de granitoides y, probablemente, gneiss del basamento extraídos por la intrusión, encontrados por Vermunt (1937) en la región de El Guayabo al NW de la ciudad de Pinar del Río: más probable que clastos y bloques derivados de un basamento de Bahamas, aflorado cerca de esta región [38]. La probabilidad de que el cuerpo dibujado por Dickerson exista es casi igual a, geológicamente, 100% y ocuparía una posición semejante a la del macizo siálico de Manicaragua con respecto al Escambray. Es curioso que la información disponible sobre este macizo siálico no se refleje en la literatura con la excepción de Furrzola-Bermúdez *et al.*, 1964, Figura no. 7.

### Alto del Guanal

Descubierto por gravimetría, magnetometría y sísmica a partir de los años 50 [64,20,67] en la literatura de Cuba se dedica poca atención al Alto del Guanal. Cubierto por depósitos del Neógeno, dentro de sus límites, ocurre el intenso campo anómalo complejo reflejado en los mapas de Bouguer y magnetométrico [57,58]. Los pozos Guanal 1A (vulcanitas y serpentinitas a 873 m) y Rojas (vulcanitas y serpentinitas a 820 m) 20 Km al NW del primero (Figura 4), revelan la composición litológica volcánica y ultrabásica del macizo llamado "complejo geosinclinal del Aptiano-Albiano y Cenomaniano-Turoniano" [25]. Es así que el Alto del Guanal es una buena explicación de las anomalías asociadas. Promontorio con una tendencia a la elevación destacada, se erosiona intensamente a partir del Campaniano, hecho claramente revelado en los sedimentos de las depresiones de San Diego y Los Palacios, cuyos patrones de relleno reflejan etapas de movimiento dinámico, seguidos por periodos de tranquilidad o estabilidad.

Los flancos de la estructura son fallas escalonadas de gran profundidad que comprimen el macizo. Trabajos antiguos [9,22,13,64,20], señalaron importantes fracturas bajo las coberturas del Mioceno. El trazo de la fractura principal, al sur de la Falla Pinar ya aparece publicado en 1963 [53], (Figura 5); mostrada como una falla lateral siniestra que tiene su trazo en tierra firme, desde Punta de Cartas, hasta la Provincia de La Habana; redescubierta en época posterior [55]. Díaz Duque y Álvarez-Sánchez [4], por continuación analítica del GTN la destacaron y denominaron Falla Los Palacios, profunda, activa, transcortical, con un buzamiento al SE de 45°; considerada la principal de Cuba occidental. Más tarde fue llamada Falla Guane [11,12], descrita como eje de la Cuenca de San Diego-Los Palacios, extendida NE-SO 280 km y profundidad 30 km, hasta el manto superior [11,12]. Los perfiles entre el pozo San Diego 1 y los pozos Guanal 1 A y Rojas, indican enormes desniveles entre las columnas litológicas respectivas El pozo San Diego 1, al Norte de la falla, corta las rocas volcánicas solo a los 3000 m. De acuerdo con García Sánchez (1978) según los datos geofísicos [55,56], las rocas del "complejo geosinclinal" *yacen directamente sobre el basamento cristalino y están unidas con las formaciones metamórficas del piso estructural inferior.*

Con tal interpretación es posible estar de acuerdo. Existen buenos fundamentos a favor de que gran parte de las estructuras cubanas, metamorfozadas o no, descansan sobre un zócalo cristalino, siálico o quizá intermedio. El límite más preciso para el cambio de corteza por el norte del Alto del Guanal, sería la Falla Los Palacios [4,5,6] o Falla Guane [12]. El perfil GTN aporta información que revela hacia el centro del elevado una faja estrecha rellena por rocas muy densas con una especie de coraza trituradas menos densa. Esta "faja" se hunde 40°-45° hacia el Sur hasta 25 km. Bajo ella está borrada la superficie de Moho. El bloque al Norte se hunde, dando lugar a una cuenca rellena de sedimentos. El bloque al Sur yace levantado, cubierto por una fina sección de sedimentos. Álvarez-Sánchez y Díaz Duque [4] interpretaron esta faja de rocas densas como un cuerpo ofiolítico y mélange serpentinitico, equivalente al cinturón ultramáfico de Cuba central. Allí las ofiolitas y el Mélange serpentinitico Santa Clara [7] se hunden al sur 55 km a un ángulo de 65° [10], (Figura 2), ángulo mayor a causa de la mayor compresión del perfil de Cuba central.

### Zonas San Diego

La Zona San Diego es la franja lineal y estrecha entre el borde Sur de la Cordillera de Guaniguanico y en contacto con el borde norte de la Zona de Los Palacios, a través de la Falla Los Palacios (o Guane). Hasta el Eoceno Medio la sedimentación tuvo como fuente principal el Arco Volcánico de Zaza, Golfo de Batabanó y Elevado del Guanal; proceso que duró hasta quedar sumergido uno bajo el mar y hundirse el otro por un sistema de fallas escalonadas al sur de la Falla Pinar. Existen cambios faciales notables demostrados por Buttiaz (1946), al E y W de San Diego de los Baños, destacados por los mecanismos de relleno más que por la composición de los sedimentos. La columna estratigráfica detallada fue establecida por Álvarez-Sánchez (1975) (Figura 6). La región de San Diego cortada por el perfil (Figura 2) contiene biostromos Campaniano-Maastrichtianos y potentes niveles de flysch y olistostromas del Paleoceno y Eoceno Inferior [3]. A partir del Campaniano los macizos volcánicos y graníticos y su fundamento metamorfozado, estuvieron aflorados, en ocasiones, no distantes de la decena de kilómetros, de las depresiones que recibían sus derrubios. A partir del Maastrichtiano tardío la cuenca del flysch y olistostromas de la Sierra de Los Órganos y de la Depresión de San Diego se comunicaban; hasta cuando la infrainserción de Norte a Sur de la Sierra de Los Órganos provocó una flexura positiva (fore-bulge) subparalela al Alto del Guanal e interrumpió dicha comunicación. Esta comunidad de fuentes de suministro es negada por varios autores [46,38]. Se objeta la presencia de clastos de la Sierra de Los Órganos en San Diego como supuesta demostración de la desconexión "Sierra de Los Órganos" y "San Diego" y prueba de la total aloctonía de la Sierra de Los Órganos en su posición actual.

Sin embargo, la existencia, de detritos de la Cordillera de Guaniguanico en las formaciones de la Depresión de San Diego (al Sur de la Cordillera) y al norte en sus equivalentes en la región de Bahía Honda, dispone de evidencias indiscutibles de más de 80 años atrás. En Vermunt [65]. se encuentran las descripciones de litoclastos de Guaniguanico en la Depresión de San Diego. En la localidad A.608, a 5 km al NW de la Ciudad de Pinar del Río, Vermunt (op cit.) describe "blue and violet limestone pebbles occur, probably



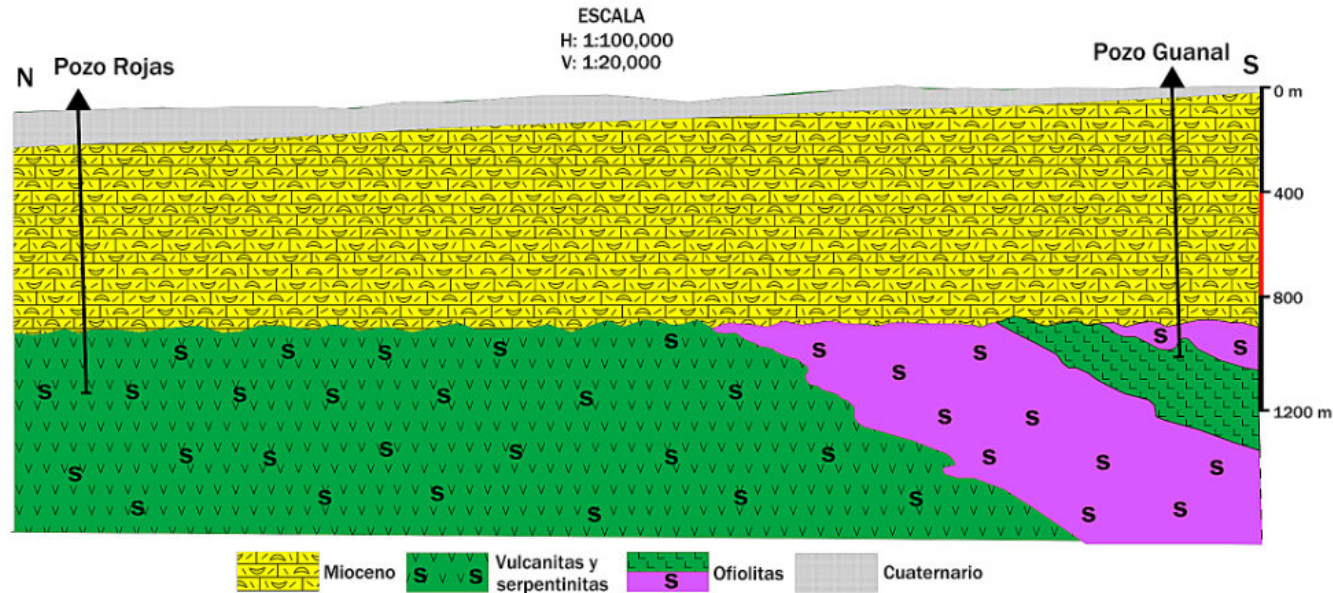


Figura.4. Intersecciones de los pozos Rojas 1 y Guanal 1A sobre el Levantamiento Guanal (redibujado de García Sánchez, 1978).

derived from the San Andres formation". Álvarez-Sánchez, 1975, encontró en rocas paleocénicas al norte de Pinar del Río, clastos de cuarzo de vetas y barítico, cuarcitas, metagabros y esquistos metaterrígenos sin duda provenientes de las Fms. Arroyo Cangre y Cerro de Cabras, de las unidades de Alturas de Pizarras del Sur [46] y Faja Cangre [35] del Sur de la Sierra de Los Órganos, inmediatas ambas a la zona San Diego.

A esto se suma el reporte de clastos de la Formación San Juan y Martínez (Maastrichtiano) en la Fm. Manacas del Paleoceno-Eoceno Inferior de la Sierra de Los Órganos; sin que ninguna mención sobre este hecho significativo, se registre en las publicaciones posteriores de esta región. Ya Vermunt (1937a y 1937b) señaló al NW de Viñales y NW de Sumidero en localidades de la "Facies de Montaña"; una caliza con *Camerina Dickersoni* y *Orbitoides Browni*; completamente típicas de la Formación San Juan y Martínez. Hatten (1957; pag. 31) describe en la Formación Manacas clastos de rudistas, pelecípodos y de calizas de banco del tipo de arrecife próximo, que con seguridad razonable provienen de los arrecifes de la Formación San Juan y Martínez. En [1] se describen fragmentos de las calizas biohermicas de rudistas en un pozo en el Llano de Manacas (al Norte de la Sierra Ancón). Álvarez-Sánchez (1975, 1981, 1984ab) describe localidades similares en la Formación Manacas de la parte central de la Sierra de Los Órganos, donde capas de brechas contienen bioclastos de "San Juan y Martínez" inconfundibles.

En los últimos años la zona San Diego resaltó notoria a causa de los llamados "gneiss de El Guayabo" [38]. Esta rocas fueron descubiertas por Vermunt (1937) y redescubiertas por Álvarez-Sánchez (1975); dando el crédito a su descubridor. Los gneiss yacen junto a otros metamórficos, clastos de granitos, pegmatitas e ignitas de todo tipo en los flysch y olistostromas de El Guayabo, al norte de Pinar del Río (Figura 6). Los gneiss y otros metamórficos son clastos milimétricos en la base del Paleoceno, aumentan de tamaño hacia arriba, junto con grandes olistolitos de vulcanitas; aunque ningún clasto de gneiss es mayor que un decímetro. La más llamativa

ocurrencia se encuentra en la Formación La Majagua (Figura 6), un flysch landeniano-ypresiano, con arcosas impuras y abundante clastos de gneiss, feldespátitas y metamorfitas diversas. En las margas blancas y puras intercaladas en las arcosas el contenido de moscovita fresca a veces es tan elevado (más de 20%), que los afloramientos brillan a la luz solar.

Los gneiss se relacionan con clastos de composición específica, entre ellos: aplopegmatitas graníticas, dioritas aplíticas, anfíbolitas, granitos feldespáticos, esquistos granate albiticos y otros. Por eso supongo que al sur en las estructuras ahora cubiertas existe un equivalente del complejo de anfíbolitas de Mabujina o restos del mismo extraídos de la base del complejo volcánico por las serpentinitas del Alto del Guanal.

Los gneiss de la región de El Guayabo se describen como gneiss bandeados leucocráticos micáceos de dos feldespatos con granate; derivados de granitos S [60]. Las primeras dataciones Ar-K [59] resultaron en edades muy jóvenes ( $71 \pm 3$  Ma;  $70.5 \pm 1.4$  Ma y  $55 \pm 6$  Ma). Después se obtuvieron edades de 220-250 Ma (Permo-Trias) (SHRIMP-II; fide Rojas-Agramonte et al., 2006) y 400-200 Ma (método termoisocrónico) [40]. Los gneiss se interpretaron como representantes de un "zócalo siálico pre-mesozoico" [38]. Somin et al., 2006 indican que los granitos S testimonian la existencia de un basamento siálico y añaden que rocas metamórficas del Triásico no se reportan en el área del Caribe, aunque aluden a los granitos triásicos de Belice bajo la suposición de que podrían conectarse con el occidente del arco volcánico del Cretácico como su fundamento.

No obstante el problema sigue sin solución convincente. La Fm. metavulcanógeno-sedimentaria Porvenir (Aptiano-Albiano) [19] de Cuba central; entre las anfíbolitas Mabujina y las granodioritas de Manicaragua, contiene clastos de granitos gráficos; rocas no conocidas en esta región ni en otra exposición en Cuba. Luego existen fundamentos para una posible proveniencia de tales detritos de un basamento siálico, paleoestructura de asentamiento, al menos parcial,

del complejo vulcano-plutónico Zaza, pero se sigue ignorando su origen. Al respecto sería preferible primero buscar en las posibles fuentes cercanas y solo después en las "estructuras de marco" y no al revés.

En el perfil de GTN, en el nivel bajo de la línea de superficie de la Falla Pinar, a una profundidad inicial de unos 2 km y apoyado contra el respaldo de las metamorfitas de la Faja Cangre que se hunden hacia el sur por la falla; aparece una agrupación de armónicos de GTN, cuyos peculiares valores, contorno, profundidad e inclinación, permiten interpretarlos conformado por rocas cristalinas de composición siálica que podrían ser un buen candidato fuente de los gneiss de El Guayabo. Luego el perfil de Cuba occidental desde el sur del MP hasta la Falla Pinar, muestra una analogía bastante completa con el perfil desde el Sur del Escambray hasta las líneas de falla que separan el Melange Santa Clara, de las Zonas de Placetas-Camajuaní.

### La Falla Pinar

No hay en la geología de Cuba un accidente más contradictorio. Interpretada como falla de presión [27]; falla profunda [23], falla transcurrente dextral [46,47]; falla transcurrente izquierda [29]; remanente de una falla lítrica [43]; Rigassi-Studer (1963) parece omitirla por completo de sus perfiles. Vermunt (1937) dibujó su trazo oriental como una falla regional; mientras que el occidental como un contacto indeterminado; por tanto, dos segmentos divergentes con centro en San Diego de Los Baños, en la demarcación W-E de las Sierras de Los Órganos y del Rosario. A menudo la falla en publicaciones se dibuja recta y conexa en toda su extensión. La Falla Pinar no es recta y, conexa, no significa que sea unitaria. Es un arco paralelo a los ejes de la Sierra de Los Órganos y recta al este de San Diego y paralela a los ejes de la Sierra del Rosario. Es decir, conforme a ejes estructurales dominantes en cada caso.

Si se trazan perpendiculares entre el cinturón de mogotes Sierra de Los Órganos y la Falla Pinar, desde el Valle de San Carlos al W hasta el Valle de Viñales al E, se comprobará que los ejes estructurales y la Falla son coplanarios. Esto es un rasgo típico de presión. Desde el Valle San Carlos al W el rumbo es NNE. Desde el Valle de Pons a Valle de Viñales, cambia al ENE, de nuevo coincidente con el rumbo de la Falla Pinar. Es en la proximidad del Valle de San Andrés cuando el rumbo de los mogotes cambia a NNW, hasta el nudo de San Diego de Los Baños; apartándose del rumbo de la Falla Pinar, a causa de la influencia de la Falla de San Andrés (Figura 5). Otra característica del acoplamiento se aprecia en los cambios de la horizontalidad de las superficies de nappes del cinturón de mogotes. En el Valle de San Carlos es horizontal y el ancho total de la Sierra de Los Órganos es de  $\pm 45$  km. A partir del Valle de Pons la pendiente aumenta hasta llegar a casi vertical en la Sierra Ancón y el ancho de la faja Sierra de Los Órganos se comprime a  $\pm 25$  km en la transversal de Viñales. En el Valle de San Andrés, en la interrupción de la faja Sierra de Los Órganos disminuye a  $\pm 16$  km, atenuándose la coherencia de los ejes de los mogotes y el rumbo de la Falla Pinar, hasta encontrarse en San Diego.

La mayoría de escritores describen esta falla como desplazamiento lateral por largas distancias. Determinarlo con certidumbre razonable presenta dificultades numerosas. El tramo al E de San Diego es recto, con un escalón muy abrupto en la Sierra del Rosario y existen allí numerosas estructuras tectónicas [41]; características del

desplazamiento horizontal izquierdo de la falla junto con algunos rasgos geomorfológicos distintivos [61]; gran parte satisfechos. Pero, cual es la dimensión acumulativa del desplazamiento de la falla, es algo desconocido. Las huellas de desplazamiento horizontal, no son indicaciones de la magnitud del desplazamiento acumulado. La necesidad de restituir estructuras previamente conectadas, desplazadas por la falla, no es materia explicada en la literatura, con excepción de Piotrowska (1978, 1987). Otro rasgo diagnóstico en el desplazamiento lateral, es la geometría de la red fluvial que interseca fallas de desgarre. El análisis de 20 ríos importantes, por lo menos oligocenos; entre San Juan y Martínez y San Cristóbal [3]; muestra curvaturas a la salida de la falla, dirigidos al oeste; al este o inalterados; en cuencas contiguas. Esta conducta es más probable producto de la erosión contra rocas duras y alternas blandas y fallas paralelas a la principal con signo vertical; más que desplazamientos laterales significativos súper-kilométricos.

El tramo occidental de la falla hasta San Diego es muy diferente al tramo oriental. Durante mi cartografía de la premontaña de Pinar del Río [3]; recorrí *ex profeso* los cauces de 5 ríos principales, cortando la línea de separación entre la zona San Diego y Guaniguanico (Falla Pinar) con afloramientos limpios y totalmente descubiertos en los 100 m antes y después de la falla. En todos los casos pude tocar estratos de las Fms. del Cretácico-Paleoceno, en contacto con la Fm. Arroyo Cangre metamórfica (HP-LT), equivalente de la Fm. San Cayetano; con buzamientos idénticos; separadas las rocas por una superficie donde ni siquiera cabe el filo de un cuchillo.

Otra cuestión relacionada son los cuerpos de serpentinita supuestamente vinculados con la falla. Una parte de los cuerpos señalados en los mapas de la región no afloran o no existen o son confusiones con rocas volcánicas parecidas a serpentinitas (e. g. al Norte de Punta Galafre). Otros cuerpos extensos nunca se señalan, como el situado cerca de Cayo de las Varas, a más de 1 Km al Sur de la Falla, "flotando" en las olistostromas.

En conclusión: De todas las interpretaciones, la más discutible es la transcurrente para el orden de decenas o centenares de kilómetros. La "Falla Pinar" pudo resultar de la conexión de dos segmentos diferentes, en un solo trazo a causa de la acción de una importante falla SE entre la Sierra de Los Órganos y la Sierra del Rosario, señalada (v. Figura 5) y llamada Falla de San Adres [2]. Es concebible que el segmento al este de San Diego se conecta con esta falla transcurrente que marca la sumergencia de la Sierra de Los Órganos bajo El Rosario. Falla que, al Norte de San Andrés, tuerce al WSW como un cabalgamiento, integrándose a la superficie "entremantos" que separa las Unidades La Paloma y Loma del Muerto, propias de la Sierra del Rosario, de las pertenecientes a la Sierra de los Órganos [34]. Tal falla de desgarre SSE recibe gran atención actual como parte de un sistema de fallas transcorticales, extendidas desde el oriente del Golfo de México hasta el territorio cubano, activas desde el Campaniano [14,15,26,50]. Es bastante probable que el verdadero contacto de alta presión, entre Zaza y Guaniguanico (Cinturón Cangre), yace en la profundidad, hundido por el sistema de fallas escalonadas destacado por los viejos trabajos y más tarde por Díaz Duque y Álvarez Sánchez en (Álvarez-Sánchez, 1981) y en López Quintero y López Rivera et. al., 1987. En efecto; según los resultados de las continuaciones analíticas del G.T.N, la Falla Pinar se puede entender como un sistema escalonado con desplazamientos grandes solo tomados en conjunto. Investigaciones sísmicas



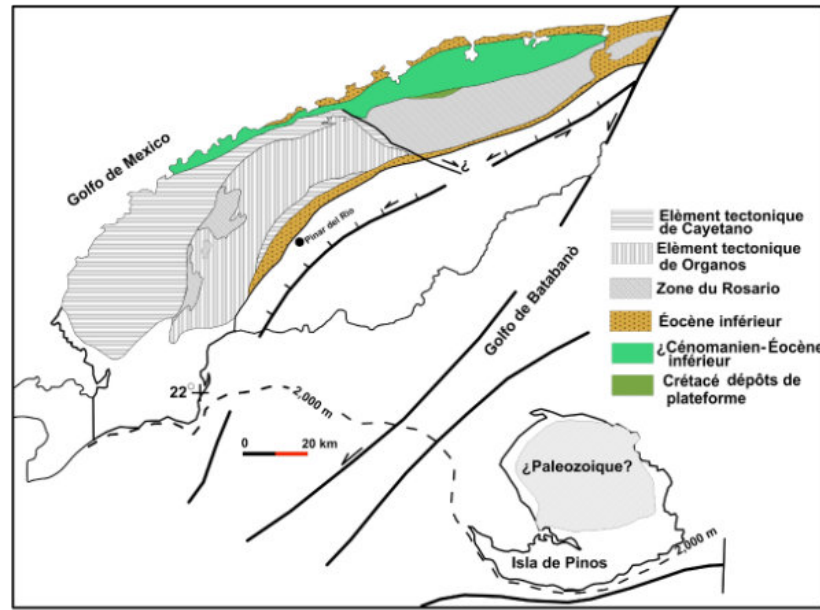


Figura.5. Fallas en la Llanura Meridional de Pinar del Río y entre la costa de Pinar del Río y el Macizo Metamórfico Pinos; según Rigassi-Studer 1963 (PL III). Nótese la gran falla cubierta transcurrente sinistral. De mismo modo es notable la falla transcurrente supuesta en la frontera Sierra de Los Órganos-Sierra del Rosario; llamada "Dislocación de San Andrés" (Álvarez-Sánchez, 1972, inédito); Falla San Andrés-San Diego (Cruz Toledo et al., 2007a y Cruz Toledo et al., 2007b); Falla San Diego (Gemen et al., 2007) o Falla San Andrés (Prol Betancourt et al., 2007).

(P.P.C.) (López Quintero y López Rivera, et. al., 1987) en aquella época confirmaron nuestras conclusiones.

### Sierra de Los Órganos

En función del conocimiento de superficie y estructura profunda, es posible discutir brevemente las cuestiones los mecanismos tectónicos del movimiento de los mantos en la Sierra de Los Órganos y los más importantes aspectos de su desarrollo y movimiento.

Dos modelos muy conocidos explican la tectónica de esta región a partir de conceptos opuestos. Hatten, 1957, interpretó la tectónica de la Sierra de los Órganos como un paquete de mantos tectónicos (Deckenpaket) de doble vergencia, con el ala Norte de mayor desarrollo y, por primera vez, cartografió mantos tectónicos individuales (Figura 7) con un definido perfil estratigráfico-facial. La imagen de estas estructuras corresponde bien a los modelos de compresión lateral inspirados en los mantos alpinos. Rigassi-Studer (1963), al contrario, pensó que los nappes de la Sierra de los Órganos resultaron de un proceso de deslizamiento gravitacional al suponer un "levantamiento Golfo de Batabanó" y una "Depresión Bahía Honda", con suficiente pendiente para detonar un deslizamiento facilitado por el bajo coeficiente de fricción estática entre las unidades y el substrato de serpentinitas, que formó la base del deslizamiento (Figura 8).

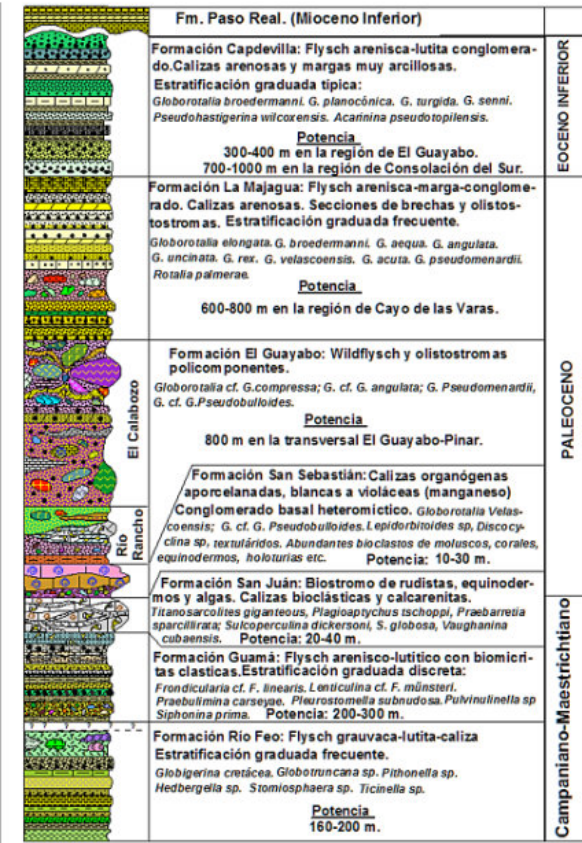


Figura.6. Columna Estratigráfica General de la Depresión de San Diego en el segmento occidental al oeste del poblado de San Diego. (Gráfico original de Álvarez-Sánchez, 1975).

Entre estos modelos aparentemente alternativos en sus extremos, probablemente se encuentra la compleja realidad. El modelo de Hatten (*op cit.*) sugiere una imagen de tectónica de piel gruesa (Pfiffner, 2017) en el basamento de los nappes, mientras que el modelo de Rigassi-Studer es un modelo clásico de piel fina por despegue y deslizamiento sobre un basamento pasivo. El mecanismo de la tectogénesis imaginado por Rigassi, tropieza con el obstáculo de explicar el desarrollo de una unidad metamórfica con unidades de alta presión en la Sierra de los Órganos; la Faja Cangre, que festonea con paralelismo riguroso a toda la Falla Pinar del Río hasta el nudo de San Diego. No obstante, algunos nappes de la Sierra de los Órganos tienen rasgos gravitacionales. Tal es el caso de la Sierra de Quemados, con su superficie "flameante" y la Sierra de la Virgen de Regla en el Valle de San Carlos. En tales casos se concibe que tales estructuras se formaron en una etapa tardía de baja presión, durante el levantamiento de la Cordillera. López Rivera et. al. 1987 hablan del "Bloque Levantado Pinar", caracterizado por un espesor mínimo de los mantos tectónicos y un basamento a la profundidad de 7-8 Kms.; en contraste con la posición deprimida de los bloques al Norte y al Sur.

La Faja Cangre, descrita primero por Truitt y Brönnimann, 1955, conocida por Krömmelbein, 1962, y llamada Faja Cangre, por Millán, 1972, fue estudiada con detalle por Piotrowska (1978, 1987) y por Pszczółkowski, 1985. La Faja Cangre en su concepto actual comprende la Fm. Arroyo Cangre [44], metamorfizada hasta las facies glaucofana-

pumpelleita de alta presión, equivalente de la Fm. San Cayetano. Una sección metamorfizada con un perfil estratigráfico prácticamente completo de las unidades calcáreas no metamórficas del centro de la Sierra de los Órganos [46] y secciones estratigráficas metamorfizadas de las Fms. Manacas y Ancón [50], del Paleoceno-Eoceno inferior de la Sierra de Los Órganos. Estos hechos establecen un criterio preciso sobre la edad del metamorfismo, cuya causa y mecanismos, no pueden coincidir con un deslizamiento gravitacional epidérmico.

El basamento bajo la Sierra de Los Órganos, por su comportamiento geofísico y espesor, parece muy similar al existente bajo Isla de Pinos. Sin embargo, ese basamento está cortado por un sistema de fallas empinadas de presión, que buzan al Sur, bajo ángulos, muy próximos o casi iguales a la llamada "Falla Pinar del Río". Las superficies tectónicas bajo la Sierra de Los Órganos, son más pendientes hacia la profundidad (hasta 45°); pero hacia la superficie, próxima a la base de los nappes, estas superficies se suavizan hasta un nivel de profundidad donde parecen solidarizarse con la misma inclinación de las superficies de separación de los

nappes; superficies que llegan a ser casi horizontales. Cabe tener en cuenta, para evitar confusiones, que en la Sierra de Los Órganos varias superficies entre nappes, "están plegadas" por presiones de Norte a Sur póstumas, ocurridas al final de Eoceno medio (orogenia cubana).

Al tener en cuenta la suma de estas características: El empaquetamiento de nappes hacia la profundidad, que no pueden responder a deslizamiento gravitacional, demostrado por la perforación del Pozo Pinar 1, finalizado a 5 km sin cortar el paquete de nappes. y, en cambio la existencia de nappes de gravitación en la superficie. La rectificación hacia mayor pendiente de algunas unidades de nappe por plegamiento póstumo. Y la existencia de una "Sierra de Los Órganos metamorfizada" al sur (la Faja Cangre). Podemos llegar a la conclusión de un cuadro de desarrollo en que los nappes de la Sierra de Los Órganos resultan de un proceso de "infraempuje", del basamento hacia el Sur, mientras las secuencias de la columna estratigráfica Sierra de Los Órganos, permanecía parcialmente pasivas; hasta que el estrechamiento provocado por las fallas de basamento, los apiló en forma de

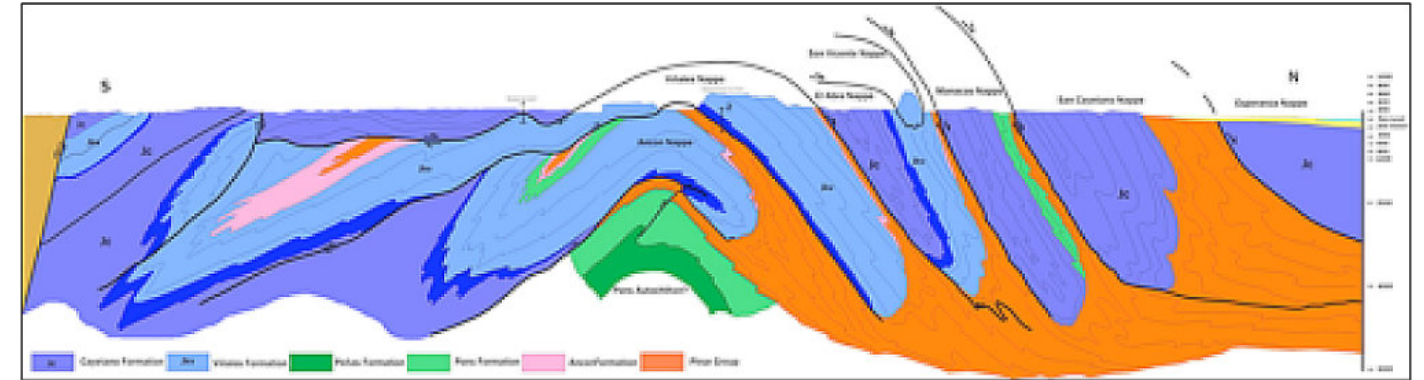


Figura.7. Sección de Hatten (1957) a través de la parte central de la Sierra de Los Órganos, en la región de Viñales. La sección muestra el concepto de Hatten de un paquete de mantos de doble vergencia que descansa sobre una unidad autóctona (Autóctono de Pons). La sección es fiel al original y solo iluminada para mayor visualidad.

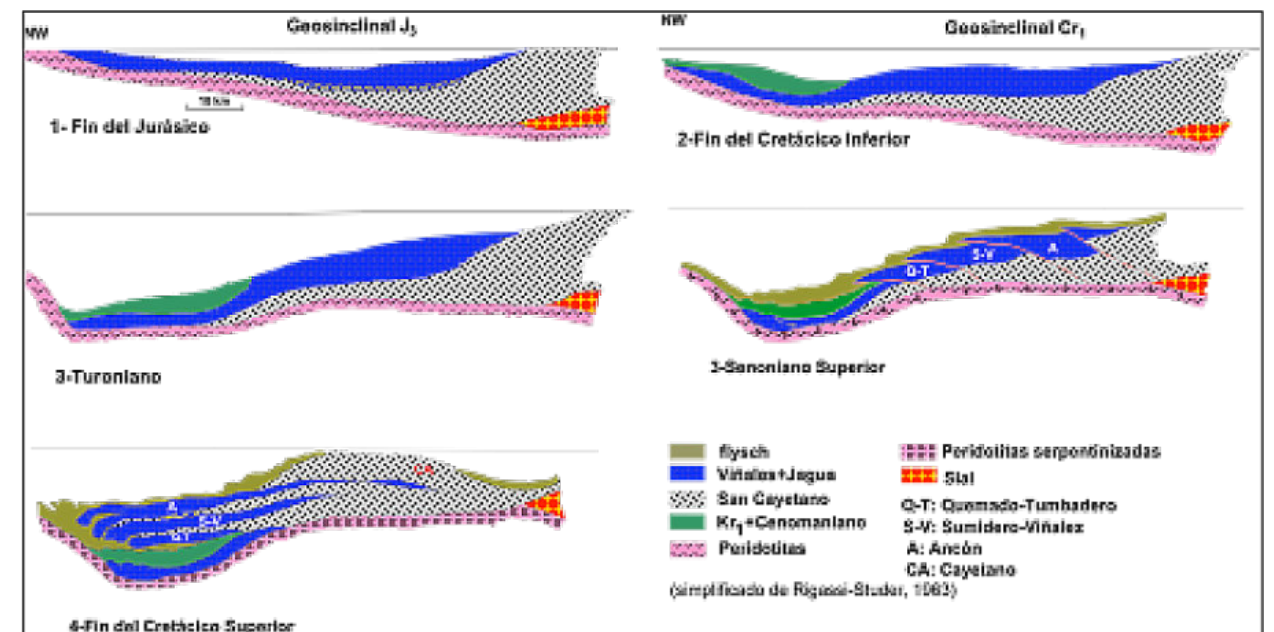


Figura.8. Modelo de deslizamiento por gravedad en el desarrollo de los mantos tectónicos de la Sierra de Los Órganos, según Rigassi-Studer, 1963.



nappes epidérmicos de cizallamiento y, al final del proceso, a causa del levantamiento isostático de la cadena, también formaron algunos nappes secundarios de tipo gravitacional. En términos de movimientos de megabloques; al ser el dominio Sierra de Los Órganos, infrainsertado a presión hacia el sur; se formó una orla metamórfica que, hacia los niveles más profundos llegó a tener rasgos de alta presión (el mismo efecto se consigue, mediante signos contrarios del movimiento). Pero la infrainserción de Norte a Sur parece más lógica, porque la unidad Pino Solo (= Arroyo Cangre) cabalga a la Unidad Mestanza (de solo presión media a baja) y esta cabalga a las unidades no metamórficas restantes de la Sierra de Los Órganos. Esta situación recuerda mucho el esquema propuesto por Stanik *et al.* (1981) para explicar la inversión del metamorfismo en la Zona Trinidad. Según Stanik la causa es el cabalgamiento de unidades más metamórficas y, por consiguiente, provenientes de una profundidad mayor, sobre las menos metamórficas. Con ciertas modificaciones y en sentido general, éste esquema se puede aplicar a la Sierra de los Órganos.

Al norte de la Sierra de Los Órganos, en la zona marina; existe una superficie tectónica que buza al sur bajo un ángulo suave en los primeros kilómetros, para aumentar hacia la profundidad delimitando los nappes. Esta superficie representa la compresión Sierra de Los Órganos- Golfo de México, causante probable del plegamiento de la superficies límite de los nappes, mediante presiones de Norte a Sur (como pensaba Palmer, 1945). Como señala Pszczółkowski, 1985, existen evidencias suficientemente fuertes para vincular el traslado de los mantos y el metamorfismo de la Faja Cangre a una misma causa.

#### Agradecimientos

Tengo una deuda de gratitud con dos amigos y colegas: Jerzy Piotrowski y Manuel Acevedo González. El primero me comentó durante una caminata en la Sierra de los Órganos en 1971; entre irónico y jocoso, que “lo nuevo es lo viejo bien olvidado” y que los mantos no venían de parte alguna sino de “allí”. Así que le debo parcialmente mi interpretación de la tectónica de la Sierra de Los Órganos. El segundo es, que yo sepa, el primer hombre en la geología de Cuba que pensó en la “Falla Pinar” como los restos de una “zona de subducción disfrazada”, lo cual me declaró en su agradable hogar de La Habana durante una noche del verano de 1974.

#### Referencias

1-Abakumov, S., Stepanov E. y Hernández, G., 1968, La estructura Geológica y los yacimientos minerales de la región de Viñales. Pinar del Río. (Inédito) *Fondo Geológico Nacional de La Habana.*  
2-Álvarez-Sánchez, H., 1972, Geología general y estructural de la Provincia de Pinar del Río, Cuba. *Instituto de Hidroeconomía. Pinar del Río, 341 Pág., 41 figs., 32 hojas 1:50,000.* (Inédito).  
3-Álvarez Sánchez, H., 1975, Estratigrafía de la parte Occidental de la llanura costera y piedemonte de la Provincia de Pinar del Río. Cuba. *Arch. Inst. de Hidroec. P. del Río, 49 págs. 17 figs. 1 map.* (Inédito).  
4-Álvarez Sánchez, H., 1981, Síntesis de la Evolución Geotectónica de la Sierra de los Órganos apoyada en el estudio de la Geología del Valle de Pons. 272 págs. 108 figs. *Tesis de la Universidad de Pinar del Río. Cuba.* (Inédito).

5-Álvarez-Sánchez, H., 1984a, La secuencia de las Formaciones Pons, Ancón y Manacas, en la parte central de la Sierra de los Órganos. Cuba. *XXII Congreso Geológico Internacional. Moscú.*  
6-Álvarez-Sánchez, H., 1984b, Estratigrafía de la Sierra de Los Órganos y la significación tectónica y paleogeográfica de las olistostromas del Valle de Pons. XXVII, *Int. Geol. Congrees. Moscú (abstract).* *Serie Geol. Mimbás. 5 Pág.*  
7-Álvarez Sánchez, H. F., Bernal Rodríguez L. R., 2015, Los melanges Santa Clara y Descanso del cinturón ofiolítico de Cuba Central. *Memorias de Geociencias. VI Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, Cuba.*  
8-Butterlin, J., 1956, La constitution géologique et la structure des Antilles. *Centre national de la recherche Scientifique; 1st edición (1 Enero 1956).*  
9-Butticaz, P., 1946, Geologic reconnaissance survey, San Diego de los Baños to Río San Juan y Martínez, Pinar del Río, Cuba. *Geological Report 10, Standard Cuban Oil Co. ONRM. Minist. de Energía y Minas, La Habana (Inédito).*  
10-Bush, V. A., y Sherbacova, I. N., 1986. Nuevos datos sobre la tectónica profunda de Cuba. *Geotectonics, (3): 24-43. (en ruso).*  
11-Cotilla Rodríguez, M., 1998, Sismicidad y sismotectónica de Cuba. *Física de la Tierra. 1998, no 10: 53-86. 155N: 0214-4557.*  
12-Cotilla Rodríguez, M. O., 1999, El controvertido alineamiento Habana-Cienfuegos, Cuba. *Estudios Geológicos, 55, p. 67-88.*  
13-Cuban Kewane Oil Co., Regional structural map western Pinar del Río. *Oficina Nacional de Recursos Minerales. Minist. de Energía y Minas, La Habana (Inédito).*  
14-Cruz-Toledo, R., Sánchez-Arango, J. R., Otero Marrero, R., Gómez-Herrera, J.E., Sosa-Meizoso, C., Fariñas Hernández, C., Pérez Martínez, Y., Mejías Rodríguez, L., y Rodríguez Moran, O., 2007a, Evaluación geomorfológica compleja para la caracterización tectónica de la denominada falla San Andrés en la provincia de Pinar del Río. *Memorias, Trabajos y Resúmenes. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2007).* *La Habana.*  
15-Cruz Toledo, R., Sánchez Arango, J., Otero Marrero, R., Gómez Herrera, J. E., Sosa Meizoso, C., Fariñas Hernández, C., Pérez Martínez, Y., Mejías Rodríguez, L., Rodríguez Moran, O., 2007b, Efectividad de la geomorfología aplicada en la precisión de fallas generadoras del relieve en la provincia de Pinar del Río Cuba. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2207-2213.*  
16-Díaz Duque, J. A., 1980, El método del Gradiente Total Normal de la Gravedad en el estudio del perfil fundamental. *Manuscrito inédito. Facultad de Minas y Geología. Centro Universitario Hnos. Saíz.*  
17-Díaz Duque, J. A., Azze Pavon, A., Casarreal Valdés, G., Díaz Valdés, O., 1989, Estudio de la estructura profunda de la Provincia de Pinar del Río a partir de la interpretación del campo gravitatorio. *Primer Congreso Cubano de Geología, 1989. Comisión de Geología Regional y Tectónica.*  
18-Dickerson, W. E., 1934, The relationship between the San Cayetano & Viñales Formations in the Organos Mountains. No. 80. *Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de Energía y Minas, La Habana (Inédito).*  
19-Dublan, L., y Álvarez-Sánchez, H.; (Editores), 1986, *et al.*, Informe Final del levantamiento geológico y evaluación de los minerales útiles en escala 1:50,000 del Polígono CAME-I, Zona Centro. *Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana. 1,402 Págs. 250 mapas.* (Inédito).

20-Ducloz, Ch., 1956, Informe sobre la parte central de la Provincia de Pinar del Río. *Manuscrito inédito. Archivo del Inst. Cubano de Recursos Minerales.*  
21-Eguipko, O., Garapko, I., Sukar, K., Saunders, E., 1975, Zonación metamórfica y otros aspectos geológicos en Isla de Pinos. *La Minería en Cuba. No. 1.*  
22-Ésso Standard Oil Co., Gravity meter survey on northern Pinar del Río. *Arch., Inst. de Hidroec. La Habana.*  
23-Furrazola-Bermúdez, G., Khudoley, K., Mikhailoskaya, M., Mirolubov, Y., Novokhatsky, Y., Nuñez-Jimenez, A., Solsona, J., 1964, Geología de Cuba. *Editorial Universitaria. La Habana. 239 págs.*  
24-García Casco, A.; Torres-Roldán R. L.; Millán, G.; Monié, P. and F. Haissen, F., 2001, High-grade metamorphism and hydrous melting of metapelites in the Pinos terrane (W Cuba): Evidence for crustal thickening and extension in the northern Caribbean collisional belt. *J. Metamorphic Geol., 19, págs. 699-715.*  
25-García Sánchez, R., 1978, Notas sobre la constitución geológico-estructural de la depresión de Los Palacios. *La Min. En Cuba., v.4, no.3, pp-30-35.*  
26-Gemen, Luís J., Prol Betancourt, J. L., Rifá Hernández, M., 2007, Argumentación de la continuación de la falla San Andrés en el Golfo de Méjico mediante la interpretación del campo gravitacional. *Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS' 2007. Memorias en CD-Rom. La Habana.*  
27-Hatten Ch. W. and Meyerhoff, A. A. , 1956, Reconnaissance traverse: Bahía Honda. San Cristóbal, Sierra del Rosario, Pinar del Río. (Inédito) *Fotocop. 5 págs. 1 map. Fondo Geológico Nacional de La Habana.*  
28-Hatten, Ch. W., 1957, Geology of Central part Sierra de los Órganos. Pinar del Río Province Cuba. 48 págs. 19 figs. *Fondo Geológico Nacional. La Habana. Cuba.*  
29-Iturralde Vinent, M. A., 1981, Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba. *Cienc. de la tierra y el Esp., n. 3, p. 51-89.*  
30-Krömmelbein, K. von, 1962, Beiträge Zur Geologischen Kenntnis der Sierra de los Órganos (Cuba). *Sonderd aus der "Zeitschrift der Deutschen Geol. Gesellschaft". Band. 114, S. 92-120.*  
31-Lewis, J. W., 1932, Geology of Cuba (with discussion by R. J. Metcalf). *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 16:533-555. 1 fig. 1 map.*  
32-López Quintero J. C., López Rivera J. G., *et. al.*, 1987, Acerca de la constitución geológica de la parte oriental de la Cuenca de Los Palacios. *Mem. III Encuentro Cient. Tec. de Geol. Soc. Cub. de Geol. Pinar del Río. pp. 27-31.*  
33-López Rivera, J. G., Rodríguez, R. y López Quintero J. O., 1987, Esquema general de la constitución geológica de la mitad occidental de la Provincia de Pinar del Río. *Boletín de Geociencias.*  
34-Martínez, D., y Vázquez, M., 1987, Alturas de Pizarras del Norte, extremo occidental de la subzona Sierra del Rosario. *Mem. III Encuentro Cient. Tec. de Geol. Soc. Cub. de Geol. Pinar del Río., pp.57-71.*  
35-Millán, G., 1972, El metamorfismo y mesodeformaciones de la unidad tectónica regional más suroriental de la Sierra de Los Órganos. *Actas. Acad. de Cienc. de Cuba. Inst. de Geol., No. 2, pp. 33-35. La Habana.*  
36-Millán Trujillo, G., 1974, Nuevos datos sobre la geología del complejo metamórfico de Isla de Pinos, Cuba. *Publicación Especial No. 2. Inst. de Geol. y Paleont. QAcademia de Ciencias de Cuba. 105-115.*

37-Millán, G., 1975, El Complejo Cristalino Mesozoico de Isla de Pinos y su metamorfismo. *Serie Geológica. Nº 23. IGP. La Habana.*  
38-Millán, G.; Somin, M. L., 1976, Algunas consideraciones sobre las metamorfitas cubanas. *Serie geológica N° 27. pag. 1-21. Acad. de Cienc. de Cuba. La Habana.*  
39-Millán, G., 1997, Geología del Macizo Metamórfico Isla de la Juventud. *En G. Furrazola-Bermúdez y Nuñez Cambrá. Estudios sobre la Geología de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. Págs. 259-270.*  
40-Millán, G. y Somin, M. L., 1985, Condiciones geológicas de la constitución de la capa granito-metamórfica de la corteza terrestre de Cuba. *Pub. Esp. Inst. de Geol. y Paleont. La Habana. 83 p.*  
41-Ordaz Hernández, A., Hernández Santana, J. R., Cofiño Arada, C. E., Méndez Linares, A. P., Galaz Escanilla, G., 2013, Análisis estructural y morfotectónico en los municipios San Cristóbal y Candelaria, Cuba Occidental: contribución a los estudios de peligrosidad sísmica de la Falla Pinar. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611, Núm. 82, 2013, pp. 7-23.*  
42-Palmer, R. H., 1945, Outline of the geology of Cuba. *The Journ. of Geology. Vol. 53. No. 1, pp. 1-34.*  
43-Pardo, G., 2006, Geology of Cuba. *AAPG Studies in geology 58.*  
44-Pardo Echarte, M. E., 2015, Aplicación de la gravimagnetometría para la cartografía estructuro-magmática del macizo metamórfico Isla de la Juventud. *Bol. cienc. tierra no.38 Medellín jul./dez. 2015.*  
45-Piotrowski, J., 1977, First manifestations of volcanism in the Cuban geosyncline. *Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences, Serie de Sciences des la Terre, 24 (3-4): 227-234. Versión en Español: En: Pszczółkowski, A., (Editor) 1987. Contribución a la geología de la provincia Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica, La Habana, p. 163-169.*  
46-Piotrowska, K., 1978, Nappe Structure in the Sierra de Los Órganos, western Cuba. *Acta Geol. Polonica, vol. 28, No 1. p 97-170. 45 figs.*  
47-Piotrowska, K., 1987, La estructura de nappes en la Sierra de Los Órganos. *En Pszczółkowski, A., Piotrowska, K., Piotrowski, J., Torre y Callejas, A., Myczyński, R., Haczewski, G., 1987, Contribución a la geología de la provincia Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba, 255 p.*  
48-Pfiffner; O. A., 2017, Thick-Skinned and Thin-Skinned Tectonics: A Global Perspective. *Geosciences (Switzerland) 7(3):71. DOI:10.3390/geosciences7030071.*  
49-Prol Betancourt, J. L., Rifá Hernández, M. C., 2005, Papel de los métodos gravimétrico y magnetométrico en el contexto de la exploración geofísica para petróleo dentro del cinturón plegado cubano. *Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias' 2005.*  
50-Prol Betancourt, J. G. L., Rifá Hernández, M. C., 2007, Argumentación de la continuación de la Falla San Andrés en el Golfo de Méjico mediante la interpretación del campo gravitacional. *Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias' 2007. Memorias en CD-Rom, La Habana, 2-23 de Marzo de 2007.*  
51-Pszczółkowski, A., 1985, Sobre la edad del metamorfismo y la estructura tectónica de la faja Cangre. *Provincia de Pinar del Río. Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio. No. 10. págs. 31-35.*  
52-Pushcharovsky, Yu. M. (Editor), 1989, Tectonics of the Republic of Cuba. *Explanatory Note to the Tectonic Map of*



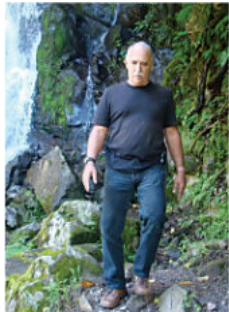
Cuba Scale 1:500000. Moscow: Edit. Isdatelstbo Nauka, (en ruso).  
 53-Rigassi-Studer, D., 1963, Sur la géologie de la Sierra de Los Organos, Cuba. *Extrait des Archivés des Sciences, Geneve, vol 16, fasc 2. pp 339-350, 11 fig., 1 tbl.*  
 54-Rutten, L. M. R., 1934, *Geology of Isla de Pinos, Cuba*. Kon. Akad. Wetensch Amsterdam, Sec. Sci. Proc., Vol. 37, no. 7, pp. 401-406. Utrecht, Communicated at the meeting of June 30, 1934.  
 55-Shablinskaya, N. y Shatsilov, N.. 1971, Informe sobre los trabajos sísmicos en la Depresión de San Diego. CNFG. La Habana. (ined.).  
 56-Shein, V. S., Kleschov, V. A., et al., 1974, Tipos de regiones (cuencas) petrogasíferas de Cuba, estructuras locales y regularidades de su distribución. *Resúmenes I Jornada Científica DGGG. Tomo 1.*  
 57-Soloviev, O. N., Skidan, S. T., Skidan, L. K., Pancratov, A. P., 1963; Mapa Gravimétrico de la República de Cuba 1:500,000. Corrección de Bouguer. *Rev. Tecnológica. V. 2. no. 2. pp. 8-19.*  
 58-Soloviev, O. N., Skidan, S. A., Skidan I. K., Pankratov, A. P. y Khudoley, K., 1964, *Comentarios sobre el Mapa gravimétrico de la Isla de Cuba. Rev. Tecnológica. V. 2. no. 2. pp. 8-19.*  
 59-Somin, M. L. y Millán, G., 1977, Sobre la edad de las rocas metamórficas cubanas. *Informe Científico-Técnico No. 2. Inst. de Geol. y Paleont. La Habana.*

60-Somin, M. L., Lepekhina, E. N., Tolmacheva, E. V., 2006, The El Guayabo Gneiss as a probable Fragment of sialic Basement for the Cretaceous Volcanic Arc in Western Cuba. *Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 03377, 2006. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-03377.*  
 61-Sylvester, A. G., 1988, Strike-slip faults. *Geol. Soc. of American Bull., v. 100, p.1666-1703, 31 figs. 1 table, Nov.1988. [14,15]*  
 62-Toucet, S., Echevarria, G., Prol, J. L., 2005, Golfo de Batabanó. Expectativas gasopetrolíferas basadas en la interpretación compleja de datos geofísicos. *GEOCIENCIAS'2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.*  
 63-Truitt, P. and Brönnimann, P., 1955, Preliminary report on the geology of the Viñales area, Pinar del Río province. *Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).*  
 64-Truitt, P. y P. Brönnimann, P., 1956, *Geologic Memorandum PT-48. Geology of Pinar del Río and Isla de Pinos, Cuba. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).*  
 65-Vermunt L. W. J., 1937a, *Geology of the Province of Pinar del Río, Cuba. Geogr. Geol. Mededeel, Utrecht, Phys. Geol. Reeks No. 13 pp 1-60, 3 lam. 2 map.*  
 66-Vermunt, L. W. J., 1937b, *Cretaceous Rudistids of Pinar del*

# MISCELÁNEOS

## Museo de Historia Natural, South Kensington, UK

Haz click en la imagen



Técnico geólogo a los 16 años, el ingeniero cubano **Humberto Álvarez Sánchez** culmina 54 años de profesión. Por años realizó estudios de la Cordillera de Guaniguanico y en los macizos metamórficos y ofiolíticos de Cuba central. Autor de 18 formaciones y litodemas de la estratigrafía cubana. Miembro de la subcomisión del Jurásico del primer Léxico Estratigráfico de Cuba. Descubridor del mayor depósito de fosforitas marinas de Cuba. Country Manager y Senior Geologist de Juniors canadienses, panameñas y de Estados Unidos; exploró en los greenstone belts de Uruguay; en terrenos Paleozoico-Mesozoicos en Paraná, Santa Catarina y Mato Grosso do Norte en Brasil; en los Andes de Perú y en Honduras, en Panamá y otros países. Miembro de la Comisión Ministerial "Ad Honorem" del Plan Maestro de Minería de Panamá. Nombrado por el Banco Interamericano de Desarrollo Consultor Senior para el proyecto geocientífico de minería de Panamá y miembro de la Misión Especial del Banco para entregarlo al Gobierno del país. Consultor del BID para la descentralización de la Autoridad Nacional del Ambiente panameña. Formerly Miembro del Consejo Científico de Geology Without Limits. Formerly Representante para América Central del Servicio Geológico de la Gran Bretaña. Director de Miramar Mining Panamá se dedica a redactar obras sobre geología de Cuba.

<https://independent.academia.edu/HumbertoFlores%20Alvarez%20S%20A%20nchez>





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

DR. JORDI TRITLLA CAMBRA

**Para imágenes:**

XNVIEW: <https://www.xnview.com/en/>

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

Darktable: [www.darktable.org](http://www.darktable.org)

**Para Petrología Ignea:**

GeoChemical Data toolkit: (GCDkit): <http://www.gcdkit.org/>

**Para imágenes científicas:**

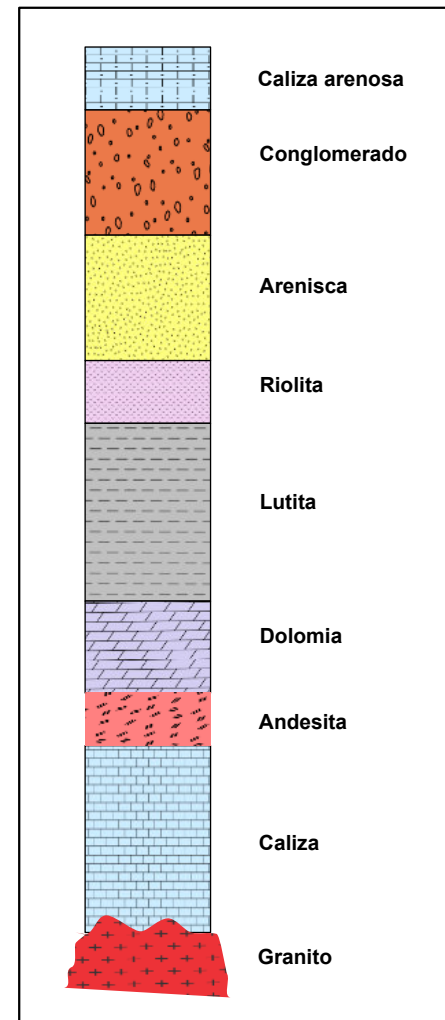
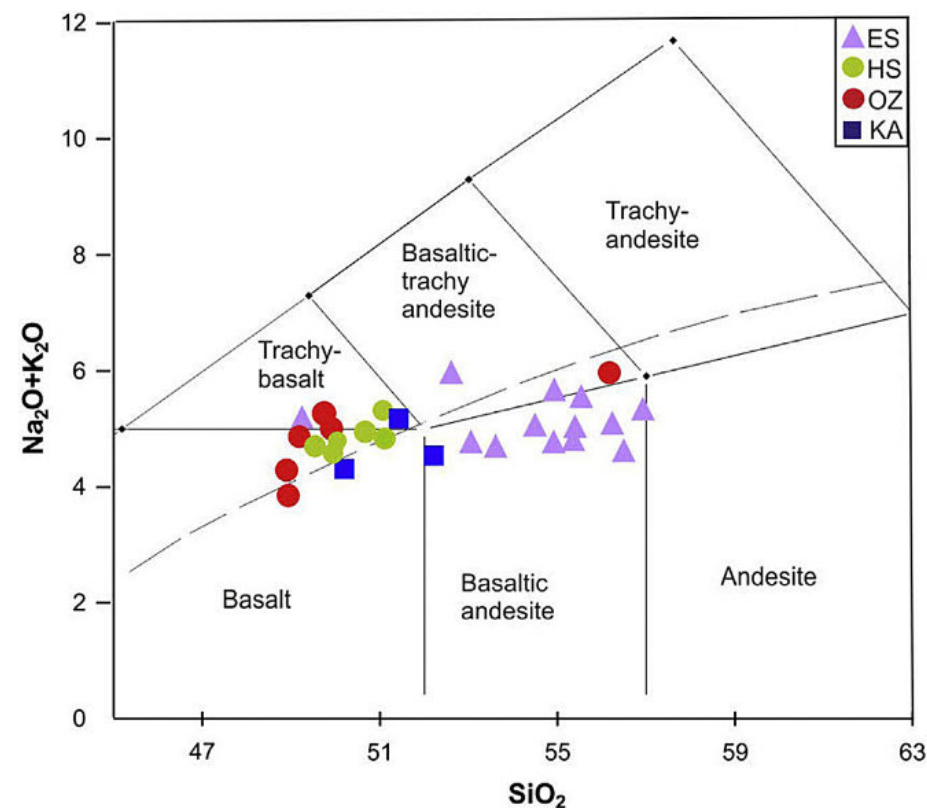
Fiji: <https://imagej.net/software/fiji/>

**Para Gráficos científicos:**

Veusz: <https://veusz.github.io/>

Inkscape: <https://inkscape.org/>

**EJEMPLOS DE ILUSTRACIONES**



**Glosario de términos geológicos**

Compilado por:

Saúl 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.

**Geomorfología:** Ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y la relación de sus formas con las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, en función de su aspecto, origen y evolución.

**Fisiografía:** Estudio o descripción del relieve de acuerdo con su forma, tamaño, orientación y lo clasifica en regiones.

**Provincias y/o subprovincias fisiográficas:** Áreas que comparten el mismo tipo de relieve y como consecuencia presentan características geológicas, hidrológicas, climáticas y biológicas semejantes.

**Elevación o altitud:** Es la altura en un punto de la Tierra por encima del nivel del mar.

**Relieve:** Es la diferencia entre las elevaciones más altas y más bajas de una región.

**Isostacia:** El estado de equilibrio gravitacional existente entre la litosfera y la astenosfera de la Tierra, de manera que las placas litosféricas "flotan" a una cierta elevación, dependiendo de su espesor. El equilibrio entre la elevación de las placas litosféricas y la astenosfera se logra a través del flujo de la astenosfera más densa.

**Procesos endógenos:** Son procesos constructivos formadores del relieve relacionados con los procesos internos de la corteza (tectónica de placas).

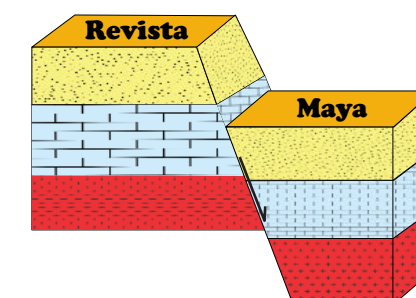
**Procesos exógenos:** Son procesos destructivos y/o acumulativos modeladores del relieve estos están influenciados por factores externos como la acción erosiva del agua, hielo viento e incluso únicamente de la acción propia de la gravedad.

Clasificación de los ríos con base a su edad y geomorfología:

**Ríos jóvenes:** Se presentan en los cauces de las montañas, cuentan con pendientes altas y secciones transversales en "V", Son muy irregulares y están generalmente en proceso de degradación.

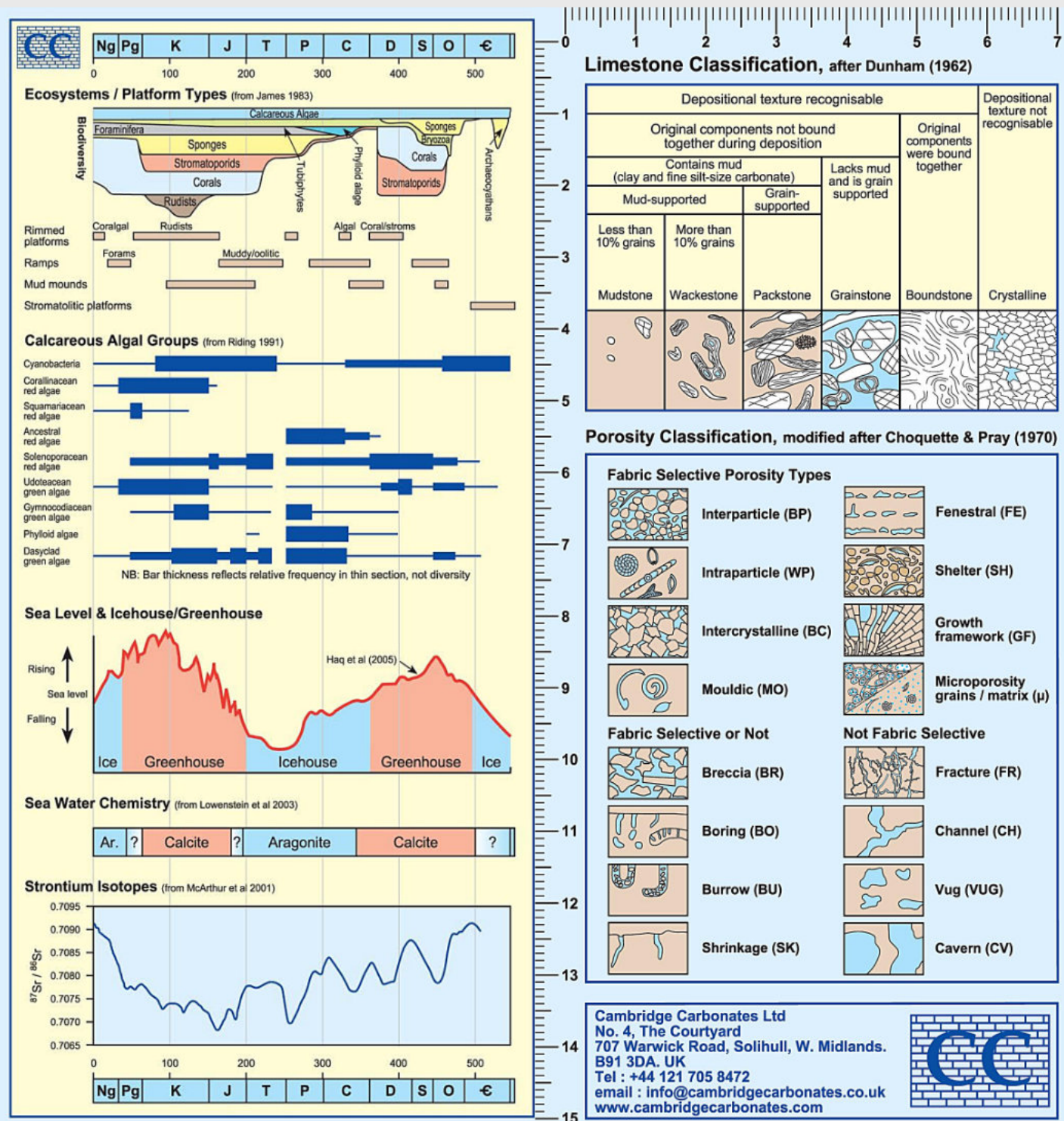
**Ríos maduros:** se presentan en valles amplios y tienen pendientes relativamente bajas; la erosión de las márgenes ha reemplazado a la erosión del fondo. Los ríos maduros son estables, y la sección transversal en cada tramo es capaz de transportar la carga de sedimento en todo su recorrido.

**Ríos viejos:** se encuentran en valles amplios y planicies cuyo ancho es 15 a 20 veces mayor que el ancho de los meandros, y las pendientes son muy bajas. En estos ríos se forman depósitos naturales de sedimentos, a lo largo de las márgenes. Frecuentemente se forman amplias planicies y pantanos en las zonas vecinas a las márgenes del río.





# Clasificación de carbonatos



Aspice in mundi circa te

LITOESTRATIGRAFIA DEL MACIZO METAMORFICO ESCAMBRAJ. El Grupo La Sierrita. Unidad superior del Macizo Metamórfico Escambray.

Por Humberto Álvarez-Sánchez y Luis Bernal Rodríguez

TOMO TRES

<https://independent.academia.edu/HumbertoFlores%C3%81lvarezS%C3%A1nchez>

**Necesitas la Tabla del tiempo geológico?**  
[https://www.geosociety.org/GSA/Education\\_Careers/Geologic\\_Time\\_Scale/GSA/timescale/home.aspx](https://www.geosociety.org/GSA/Education_Careers/Geologic_Time_Scale/GSA/timescale/home.aspx)

**Asociaciones de Geología y Geofísica**  
**AMGP:** <https://www.amgp.org/>  
**AAPG:** <https://www.aapg.org/>  
**AMGE:** <https://amge.mx/>  
**SEG:** <https://seg.org/>  
**UGM:** <https://ugm.org.mex>

**Gaceta Geológica de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros**  
<https://www.amgp.org/publicaciones/gacetas/nacional>  
**Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature**  
 Octavian Catuneanu, William E. Galloway, Christopher G. St. C. Kendall, Andrew D. Miall, Henry W. Posamentier, André Strasser, and Maurice E. Tucker  
[https://pdfs.semanticscholar.org/011f/5297d-b5d4661d42f5b7148e87d07677e0f63.pdf?\\_ga=2.234966403.38414444.1612560076-1551899140.1612560076](https://pdfs.semanticscholar.org/011f/5297d-b5d4661d42f5b7148e87d07677e0f63.pdf?_ga=2.234966403.38414444.1612560076-1551899140.1612560076)

**Visítanos en Facebook y hazte miembro: Mexico Petroleum Geology**  
<https://www.facebook.com/groups/430159417618680/>

**Aquí puedes bajar la Tabla Cronoestratigráfica Internacional:**  
<https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-07.pdf>

**Comparative Sedimentology Laboratory:** <http://www.cslmiami.info/>

**Clasificación de las rocas sedimentarias:** <http://www.kgs.ku.edu/General/Class/sedimentary.html>

**Escala Granulométrica:** <https://www.britannica.com/science/grain-size-scale>

**Glosario de Geología (España)**  
 Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, y Naturales  
[https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac\\_geologia/rac.htm](https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm)

**English-Spanish and Spanish-English Glossary of Geoscience Terms**  
 Gary L. Prost  
<https://garyprostgeology.com/publications>



# La casa de Homo sapiens

[https://www.nationalgeographic.org/topics/resource-library-human-origins/?q=&page=1&per\\_page=25](https://www.nationalgeographic.org/topics/resource-library-human-origins/?q=&page=1&per_page=25)

<https://humanorigins.si.edu/evidence/human-fossils/species/homo-sapiens>

<https://www.nhm.ac.uk/discover/who-were-the-neanderthals.html>

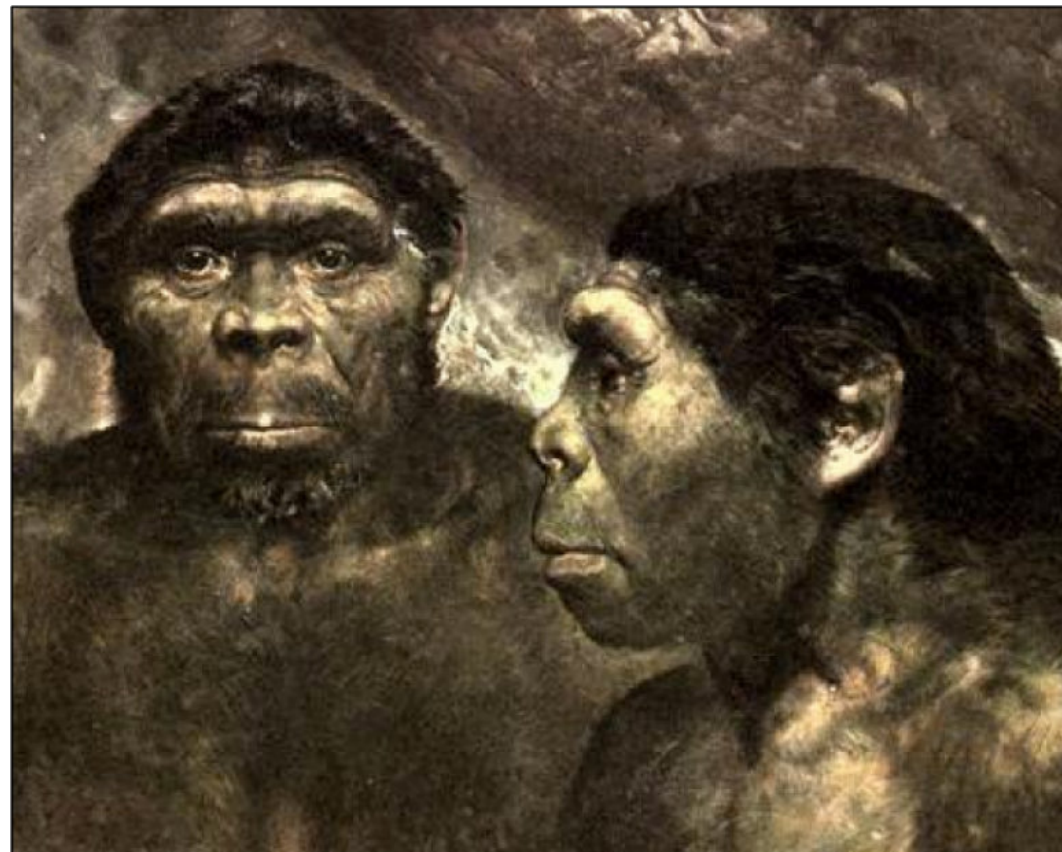
<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/essential-timeline-understanding-evolution-homo-sapiens-180976807/>

<https://www.yourgenome.org/stories/evolution-of-modern-humans>

<https://www.history.com/news/humans-evolution-neanderthals-denisovans>

[https://curiositystream.com/search/Homo%20Sapiens?utm\\_campaign=D-PerformanceMax-US&utm\\_medium=display&utm\\_source=google&utm\\_placement=&utm\\_content=&gclid=CjwKCAjwgb6lBhAREiwAgMYKR7gV-WuEXSf1NKMo7n053GSjUS5dJXuiQkU2hgJ-C2VgEALMVuaDxoC4TsQAvD\\_BwE](https://curiositystream.com/search/Homo%20Sapiens?utm_campaign=D-PerformanceMax-US&utm_medium=display&utm_source=google&utm_placement=&utm_content=&gclid=CjwKCAjwgb6lBhAREiwAgMYKR7gV-WuEXSf1NKMo7n053GSjUS5dJXuiQkU2hgJ-C2VgEALMVuaDxoC4TsQAvD_BwE)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_evolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Human_evolution)



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

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

<https://aggep.org/>



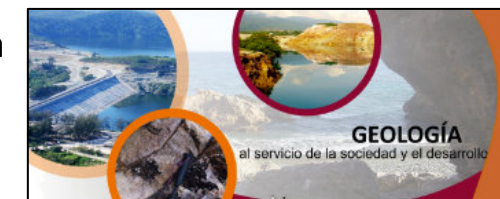
**Sociedad Geológica de España**

<https://sociedadgeologica.org/>



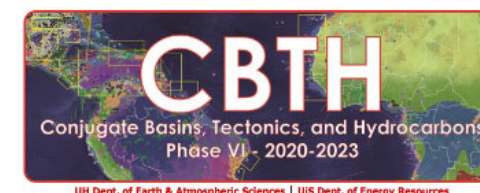
**Sociedad Cubana de Geología**

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



**Sociedad Dominicana de Geología**

<http://sodogeo.org/>



UH Dept. of Earth & Atmospheric Sciences | UIS Dept. of Energy Resources

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

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

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





# Curiosidades de geociencias y cultura...

## Cráter de Darvaz: La Puerta del Infierno (Hell Gate) – Uzbekistán

Se alza en Uzbekistán, más precisamente en las cercanías de un pequeño pueblo llamado Darvaz. El sitio fue descubierto por un grupo de geólogos que buscaban gas hace ya 35 años.

Aunque no existe confirmación oficial, se cree que en la década de los 70 cuando Turkmenistán aún era parte de la URSS, dicho régimen envió al desierto de Karakum a un grupo de geólogos para que realizaran diversas prospecciones en busca de petróleo y gas. Dicho y hecho, pero no todo fue tan fácil ya que durante una de esas prospecciones vieron como parte del equipo era tragado por la tierra.



Este cráter, denominado la puerta al infierno, se originó hace 35 años, cuando unos geólogos prendieron fuego a una cueva que contenía gases probablemente tóxicos.



Con 30 m de diámetro y 20 de profundidad, esta cráter ubicado en Uzbekistán, no para de arder desde hace 35 años.

Decidieron encenderlo para que ningún gas venenoso pudiera salir, pretendían de esta forma esperar hasta que todo el gas se consumiera para continuar con la perforación, aquello provocó una explosión que originó un cráter de 30 metros de diámetro y 20 metros de profundidad que engulló la planta de perforación. Desde entonces está ardiendo, lleva 35 años sin pausa, nadie sabe cuántas toneladas de gas se han quemado durante todos esos años pero parece infinito.

Por suerte, no hubo que lamentar heridos. Sin embargo, el cráter comenzó a expulsar grandes cantidades de gas natural, compuesto principalmente de metano y otros gases como alcanos y un pequeño porcentaje de dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico y helio. En caso de que los distintos gases hubieran llegado hasta la atmósfera, podrían haber tenido un gran impacto tanto sobre las personas como sobre el entorno natural.

Actualmente el lugar se encuentra en llamas y ha sido llamado por los locatarios del lugar como “El camino al infierno”. Cabe destacar que esta es la única maravilla que no tiene un origen de hace millones de años.

En mayo de 2015, el explorador canadiense George Kourounis se convirtió en el primer hombre en descender la llamada puerta del infierno. Utilizó un equipo de respiración y un traje resistente al calor, esto le permitió tomar muestras del suelo con las cuales se comprobó que existen organismos vivos en el lugar. La temperatura del fuego alcanza los 400 °C y se puede sentir a 40 kilómetros de distancia.



Vista panorámica del cráter. Autobus como escala.

Referencia bibliográfica: BIBLIOTECA DE INVESTIGACIONES DE CIENCIAS DE LA TIERRA.

<https://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/geologia/maravillas-de-la-naturaleza-las-estructuras-geologicas-mas-bellas-del-planeta/>