

# Revista Maya de Geociencias



Carina Nebula's 'Mystic Mountain'  
Within the tempestuous Carina Nebula lies "Mystic Mountain."  
Hubble Space Telescope Images, NASA

EDITORES DE LA REVISTA

**Luis Angel Valencia Flores (M.C.)**. Ha trabajado en el Instituto Mexicano del Petróleo, Pemex Activo Integral Litoral de Tabasco, Schlumberger, Paradigm Geophysical, Comisión Nacional de Hidrocarburos y Aspect Energy Holdings LLC. Actualmente se desempeña como consultor y académico en el IPN (posgrado y licenciatura) y la UNAM (licenciatura) impartiendo las materias de Evaluación de formaciones, Caracterización geológica de yacimientos, Geología de yacimientos entre otras del ramo petrolero. Es Technical Advisor del Capítulo estudiantil de la AAPG-IPN con participaciones en el concurso Imperial Barrel Award y diversos eventos académicos.  
luis.valencia.11@outlook.com

**Bernardo García-Amador** es candidato a doctor en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su geo-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) y da clases en la Facultad de Ingeniería de la UNAM como profesor de la asignatura de Tectónica. [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)

**Claudio Bartolini (Ph.D.)** es geólogo consultor, miembro de la Academia de Ingeniería de México, Editor Asociado de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros (AAPG). [bartolini.claudio@gmail.com](mailto:bartolini.claudio@gmail.com)

Revista Maya: Revista de Geociencias que nace a partir 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.

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 cual será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro.

Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate con cualquiera de los editores.



Revista Numero 4  
Mayo 1, 2021



## Semblanza del Dr. Rafael Barboza Gudiño



El **Dr. José Rafael Barboza Gudiño** estudió la licenciatura en Geología, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (1979-1984) y posteriormente la Maestría y Doctorado en la Universidad Técnica de Clausthal (1986-2004), en la entonces República Federal de Alemania, con desarrollo de la tesis de maestría en La Sierra de catorce, S.L.P. y de doctorado en la Sierra de Juárez, Oaxaca.

Tras esta preparación, laboró inicialmente como profesor en la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Nuevo León y a partir de 1994 como profesor-investigador en el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Por espacio de 20 años, desde enero de 2001 a enero de 2021 fungió como Director de dicho Instituto, habiendo impulsado la creación del Posgrado en geología Aplicada, que actualmente ofrece el grado de Maestría, incluido en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC). Asimismo, promovió la organización de cuerpos y líneas de investigación, quedando el personal en la actualidad agrupado en dos cuerpos académicos reconocidos por la Secretaría de Educación Pública, como cuerpos académicos consolidados.

Las principales actividades académicas del Dr. Barboza han sido la docencia a nivel licenciatura y posgrado ofertando actualmente cursos como

<https://www.researchgate.net/profile/Jose-Barboza-Gudino>

<http://ciep.ing.uaslp.mx/geologia/profesor.php?id=35323331>

<https://investigadores.uaslp.mx/InvestigadorProfile/bxQAAA%3D%3D>

Geología de México y Procesos y ambientes de la sedimentación clástica.

En el ámbito de la Investigación científica ha desarrollado la Línea de investigación "Estratigrafía y Paleogeografía del Mesozoico temprano en el Centro y Noreste de México", aportando nuevos modelos paleogeográficos, de la sedimentación y subdivisión estratigráfica para el Triásico tardío, así como estudios del volcanismo Jurásico en México, a través de cinco proyectos SEP-CONACyT como responsable técnico.

Como parte de las actividades de vinculación con la Industria privada, paraestatales y dependencias gubernamentales, ha desarrollado numerosos proyectos de cartografía y estudios estratigráfico-estructurales para diversas compañías mineras, el Servicio Geológico Mexicano, Conagua y distintas organizaciones de protección civil.

En asociación con los proyectos de investigación tanto básica como aplicada antes mencionados, ha dirigido 16 tesis de maestría y 15 de nivel licenciatura, de estudiantes tanto nacionales como extranjeros.

Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) y a diversas asociaciones científicas, como la Sociedad Geológica Mexicana, habiendo fungido como presidente de la delegación San Luis Potosí (2009-2012) y Vicepresidente de educación en la mesa directiva nacional (2011-2013). Así como a la *Geological Society of America*, como miembro desde 1997 y *Campus Representative* para San Luis Potosí desde 2005.



<https://ace.aapg.org/2021/Technical-Program/Program>

## Semblanza del Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca



**Ismael Ferrusquía Villafranca** cursó en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México su Licenciatura en Biología y en la University of Texas-Austin obtuvo el Ph. D. in Geology. Ha tenido una participación destacada en la Investigación y en la Formación de Recursos Humanos. Es Investigador Titular C de Tiempo Completo en el Instituto de Geología, UNAM, con una trayectoria académica de 60 años en esa Casa de Estudios, y Profesor en el Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM, donde imparte la Cátedra de Estratigrafía Avanzada, y tiene la distinción de Investigador Nacional Nivel III en el Sistema Nacional de Investigadores.

Su interés científico se ha centrado en la Estratigrafía del Terciario Continental de México (el cual dista mucho de estar diferenciado) y en la Paleontología de Vertebrados, fundando de hecho esta Línea de Investigación en la UNAM y con ello en el País. Los resultados de su trabajo se han publicado en revistas de impacto y cuenta con 4,508 citas. Ha encabezado proyectos CONACYT, UNAM y National Geographic Society en los cuales han participado destacados investigadores nacionales y extranjeros, e incluyó a estudiantes para darles entrenamiento en trabajo de gabinete y de campo. En esta labor formativa de recursos humanos, ha dirigido 39 tesis de licenciatura y posgrado, es tutor de los Posgrados de Ciencias de la Tierra y de Ciencias Biológicas, UNAM. En otro aspecto de tal actividad, el Dr. Ferrusquía encabezó por muchos años la Comisión Coordinadora del Posgrado en Geología, Facultad de Ciencias, que sirvió de modelo a otros posgrados, y donde se generaron los primeros Maestros en Geología formados en México.

Su destacada contribución estratigráfica le llevó a encabezar la North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, entidad que publica el Código Norteamericano de Nomenclatura Estratigráfica, el cual norma la praxis geológica en Canadá, Estados Unidos y México; desde 2008 es Commissioner at Large, es decir por derecho propio, merced a sus aportaciones en esta Comisión.

Como fundador de la Línea de Investigación en Paleontología de Vertebrados en la UNAM, colaboró ampliamente en generar la infraestructura de investigación, particularmente en la creación de la Sección de Vertebrados Fósiles del Museo de Paleontología del Instituto de Geología. En su calidad de pionero, el Dr. Ferrusquía y sus asociados, han abordado el estudio de grupos taxonómicos diversos de distintas edades procedentes de varios estados, he aquí algunos ejemplos: La primer selacifauna (tiburones y rayas) paleogénica de Mesoamérica, mamíferos y reptiles de Baja California, las primeras huellas de dinosaurios encontradas en México, la fauna del Eoceno más temprano del país (Baja California), precisar la datación biocronológica del Conglomerado Guanajuato, y la descripción del primer mamífero encontrado en los depósitos ámbar de Chiapas.

Asimismo, dicha labor ha permitido conocer la constitución taxonómica de numerosas faunas de vertebrados fósiles en los estados de Baja California, Chihuahua, San Luis Potosí, Guanajuato, Oaxaca y Chiapas, cuya edad conjunta se extiende del Eoceno al Mioceno, encontrándose unas 10 especies, 7 géneros y una familia, nuevos para la Ciencia. Organizó con el Dr. Gabriel Dengo, distinguido geólogo guatemalteco, el Simposio sobre Conexiones Terrestres entre Norte y Sudamérica, de temática diversa, que incluía Tectónica de Placas, (entonces...) en su infancia, Geología Centroamericana, y distribución de grupos taxonómicos diversos; tal distribución mostraba que la comunicación interoceánica ocurría todavía en el Mioceno, y que la comunicación terrestre entre Norte y Sudamérica era necesariamente posterior. Editó el volumen respectivo y publicó ahí la síntesis sobre las vertebrado-faunas de la región (Norte de Sudamérica, Centroamérica y Sur de Norteamérica), la cual con sus más de 500 citas, es la obra más citada en esta disciplina elaborada por un mexicano. Sus estudios en el Mioceno de Oaxaca confirmaron la afinidad norteamericana de la fauna, extendida tentativamente hasta la Zona del Canal de Panamá, al encontrar y describir en ese estado mamíferos de la misma familia (Merycoodontidae) de los hallados en Panamá, a muchos miles de kilómetros al sur de sus localidades en Estados Unidos, sin ningún registro intermedio, y que la fauna panameña, a pesar de su cercanía con Sudamérica, no incluía ningún mamífero de ese subcontinente. El trabajo del simposio es el antecedente inmediato del estudio del Gran Intercambio Faunístico Americano (GAFI por sus siglas en Inglés), tema muy ampliamente tratado en la Paleontología de Vertebrados de finales del siglo XX.

Ha realizado numerosas estancias de investigación en diversas instituciones tales como el American Museum of Natural History, New York, The Texas Memorial Museum, Austin, Texas; Natural History Museum, Los Angeles, Museum of Paleontology, University of Michigan, Ann Arbor, Museum of Paleontology, University of California-Berkeley, Museo Nacional de Historia Natural, Madrid España. Especial mención merece su interés por la Profesión y la Comunidad Paleontológica del País, que le llevaron a encabezar el esfuerzo para fundar en 1986 La Sociedad Mexicana de Paleontología, A.C., que está celebrando su 35º Aniversario.

Por último, cabe señalar que el Dr. Ferrusquía ha recibido numerosas distinciones, entre las que destacan la John Simon Guggenheim Memorial Foundation Fellowship (New York), reconocimiento científico y humanístico internacional, segundo después del Premio Nobel, y el único entregado a un mexicano en el área de Ciencias de la Tierra; Diploma y Medalla de Reconocimiento por 50 Años de Servicios Académicos a la UNAM, y la designación de dos nuevas especies, *Sigmodon ferrusquiai* Carranza y Walton; y *Ferrocyon avius* Ruiz y Montellano. En fin, el Dr. Ferrusquía ha dedicado su vida al servicio de la Universidad y del País.

<https://www.researchgate.net/profile/Ismael-Ferrusquia-Villafranca>

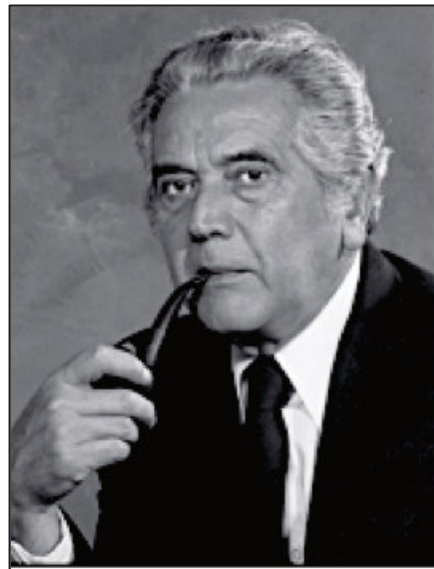
<https://www.geologia.unam.mx/comunidad-igl/ferrusquia-villafranca-#:~:text=El%20doctor%20Ferrusqu%C3%ADa%20desarrolla%20investigaci%C3%B3n,y%20Evoluci%C3%B3n%20Biol%C3%B3gica%20de%20M%C3%A9xico.>





# Pioneros de las Geociencias

## Gabriel Dengo



Gabriel Dengo (1922–1999) Gabriel Dengo, acknowledged dean of Central American geologists was born March 9, 1922, in the province of Heredia, Costa Rica. Gabriel's formal education began at the University of Costa Rica, where he received a baccalaureate degree in agriculture in 1944. That year he received a scholarship from the Rockefeller Foundation to pursue graduate study in geology at the University of Wyoming, where he earned B.A. (1945) and M.A. (1946) degrees in geology. His Master's thesis was the basis for his first publication: "Geology of bentonite deposits near Casper, Natrona County, Wyoming." He enrolled at Princeton University where he was supported by a prestigious Proctor Fellowship and studied principally under Harry H. Hess, Arthur F. Buddington, and Edward Sampson. He was awarded the Ph.D. in 1949. Gabriel was a well-grounded generalist who made significant contributions in igneous and metamorphic petrology, structure and tectonics, stratigraphy, economic mineral deposits, geologic history, geophysics, and regional mapping and synthesis.

For six months in 1950, Gabriel worked full-time at Princeton as a research associate in the program. In 1950, he returned to Venezuela and served for two years as Senior Geologist in the Ministry of Mines and Hydrocarbons. From 1952 to 1955, Gabriel worked in Costa Rica as a field geologist and supervisor for the Union Oil Company of California. From 1956 to 1962, he was exploration manager in Guatemala. Gabriel returned to Guatemala in 1963 as a consultant for the Organization of American States and was assigned to the Permanent Secretariat of the Central American Economic Integration Treaty (SIECA) as advisor on natural resources. From 1965 until October 1969, Gabriel served as chief of the Geology and Mining Division of the Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), Guatemala.

From October 1969 to April 1975, he served as General Deputy Director, and from June 1975 through April 1979, as Director. His contributions include editorial service for GSA, AAPG, the Venezuelan Association for the Advancement of Science, and ICAITI. For GSA, he served as councilor from 1970 to 1973 and as a member of the Centennial Committee. He was also an Honorary Fellow of the Society. He was on the committee for the Metallogenic Map of North America and was also senior

author. He also edited the DNAG volume on the Caribbean region for GSA. He was a founding member of Sociedad Geológica de Guatemala.

Among the many honors and awards he received are AAPG's Michael T. Halbouty Human Needs Award (1995), the Distinguished Services Medal of the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, and Southern Methodist University's Hollis D. Hedberg Award in Energy. The Sociedad Geológica de Guatemala has established the annual Gabriel Dengo Award for Excellence in Earth Sciences, and in 2000, the AAPG executive committee created the Gabriel Dengo Memorial Award to be given to the author of the best paper presented at the annual AAPG International Convention. He was the author or coauthor of more than 60 scientific papers (taken from GSA Memorial, 1999).

### Selected Publications

Dengo, G., 1969, Problems of tectonic relations between Central America and the Caribbean: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 19, p. 311–320.

Dengo, G., 1972, Review of Caribbean serpentinites and their tectonic implications, in R. Shagam, R. B. Hargraves, W. J. Morgan, F. B. Van Houten, C. A. Burk, H. D. Holland, and L. C. Hollister, eds., Studies in earth and space sciences: GSA Memoir 132, p. 303–315.

Dengo, G., 1985, Mid America: Tectonic setting for the Pacific margin from southern Mexico to northwestern Colombia, in A. E. Nairn, F. G. Stehli, and S. Uyeda, eds., The Ocean basins and margins: Springer The Pacific Ocean 7A, p. 123–180.

Dengo, G., and J. E. Case, 1990, The Caribbean region: GSA Geology of North America H, 528 p.

### The Geological Society of America

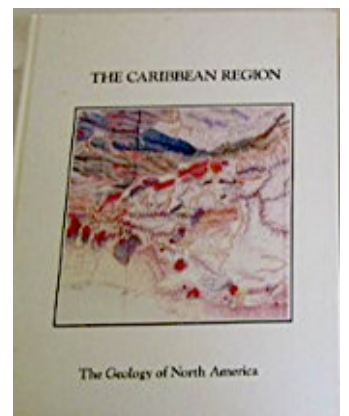
#### Decade of North American Geology

#### The Caribbean Region

Editors: Gabriel Dengo and J.E. Case

#### Description:

The result of a major international effort involving authors and organizations from 13 countries, this volume summarizes the complex geology and tectonic evolution of the Caribbean plate and its relation to the adjacent North American, South American, Nazca, and Cocos plates. Focuses on regional geology and geophysics, magmatic processes, neotectonic features, geologic hazards, and energy and metallic resources. Contrasting views for the Mesozoic and Cenozoic geological evolution are presented in chapters on plate tectonics and mantle surge tectonics. Chapters on marine geology and geophysics are new syntheses for the entire Caribbean region. Highlights of the volume include extensive bibliographies and new syntheses of stratigraphic-lithologic columnar sections, seismicity, gravity and magnetic anomalies, neotectonic features, resource data, and crustal properties. Published as part of the Decade of North American Geology (DNAG) Geology of North America series.



## Ing. Eduardo J. Guzmán



Nació en la Ciudad de Puebla en 1920. Cursó la carrera de geólogo en el Instituto de Geología de la Universidad Central de Venezuela (donde su padre el Dr. Salvador R. Guzmán, diputado constituyente de 1917 era embajador) graduándose con mención honorífica. Inició su experiencia profesional en 1942 con la Mene Grande Oil Company (Gulf) en San Tomé, Venezuela. Ingresó a Petróleos Mexicanos en 1943 donde realizó trabajos de geología superficial en Oaxaca y Guerrero. En 1948 fundó la primera brigada de geología de subsuelo en el Distrito Reynosa de Petróleos Mexicanos, donde contribuyó al desarrollo de esta importante provincia geológica. En 1949 fue nombrado jefe de geólogos y en 1954 se hizo cargo de la Subgerencia de Exploración, puesto que ocupó hasta 1967. En 1967 fue transferido al Instituto Mexicano del Petróleo como Subdirector de Tecnología de Exploración hasta 1976 y como asesor del Director General hasta 1982.

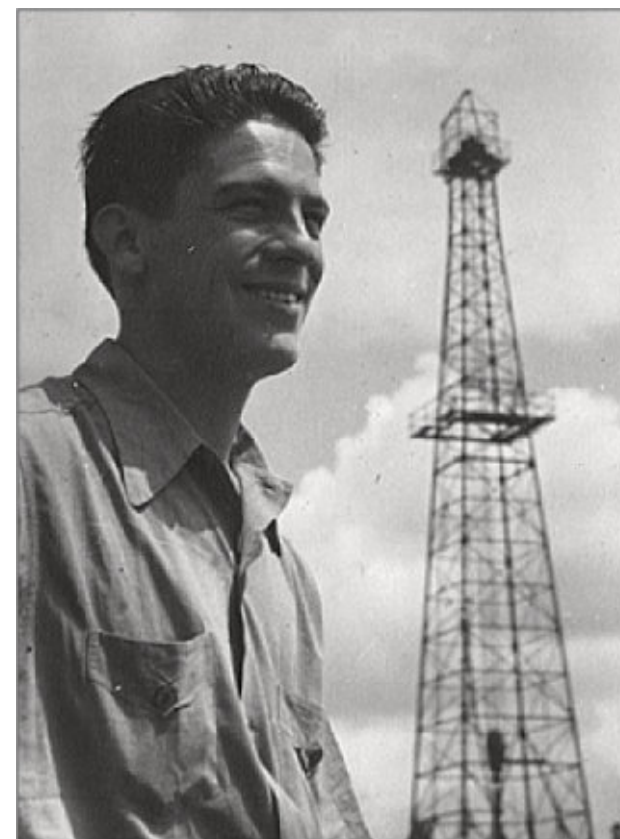
Aportó a las nuevas generaciones de geólogos su visión y sus claras ideas de lo que son y deben de ser la geología y la exploración petrolera, contribuciones que llevaron al Ing. Eduardo J. Guzmán éxito profesional a estar siempre al frente de la geología petrolera en México.

Su trabajo se caracterizó siempre por una comprensión amplia y profunda de la geología petrolera, aunado a un gran talento administrativo y de organización que le permitieron comunicarse con geólogos de todo el mundo, lo cual fue de un valor inestimable para Petróleos Mexicanos y el Instituto Mexicano del Petróleo.

Fue miembro fundador en 1949 de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros de la que ocupó la presidencia en dos ocasiones y de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros (AAPG) de la cual fue electo vicepresidente en 1967 siendo el primer extranjero en ocupar este cargo y en 1972 se le nombró miembro honorario. También fue miembro de la Sociedad Geológica Mexicana; la Sociedad de Geólogos Venezolana; del American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers; de la Society of Economic Paleontologists and Mineralogists; de la Geological Society of America y de la prestigiada Academia Mexicana de Ingeniería.

Durante más de 30 años impartió la cátedra de geología del petróleo y otras materias en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y en la ESIA del Instituto Politécnico Nacional.

Su ejemplo trasciende por su dedicación profesional, su nacionalismo, su liderazgo y su gran personalidad, fincados en su inteligencia, su fino sentido del humor e ironía, su sabiduría, amabilidad y elegancia, su eximio dominio del lenguaje y por ser, sin duda, uno de los mejores geólogos petroleros mexicanos.



En los campos petroleros de San Tomé, Venezuela (1943).



Con el Ing. Teodoro Díaz en el Norte de México (ca. 1947).



Con el Ing. Federico Mina en la Cd. de México (ca. 1954).



Geología de campo en el Estado de Oaxaca (ca. 1944).



## El libro recomendado

### Explorando el mar profundo del Golfo de California

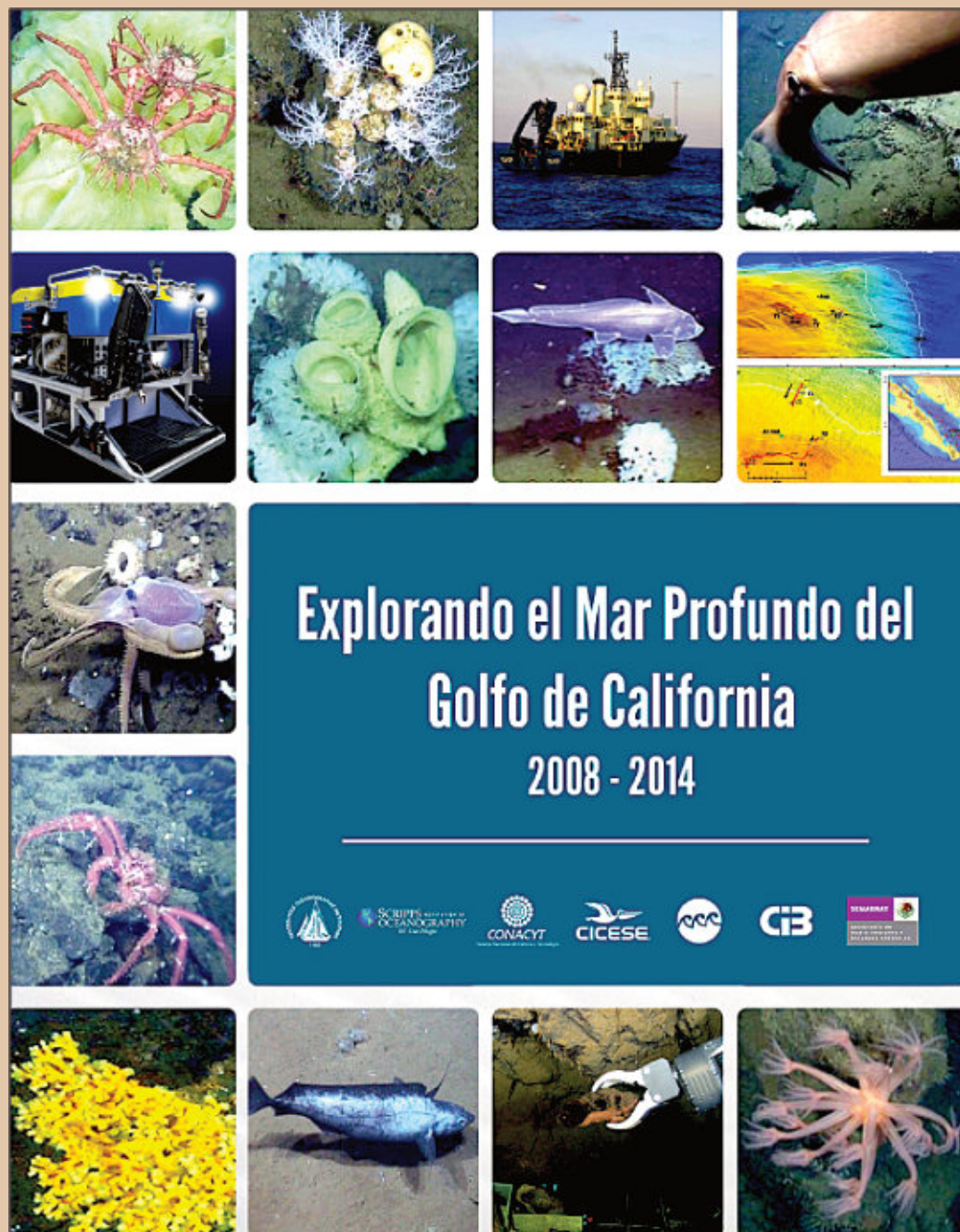
Editores

Beatriz E. Mejia Mercado

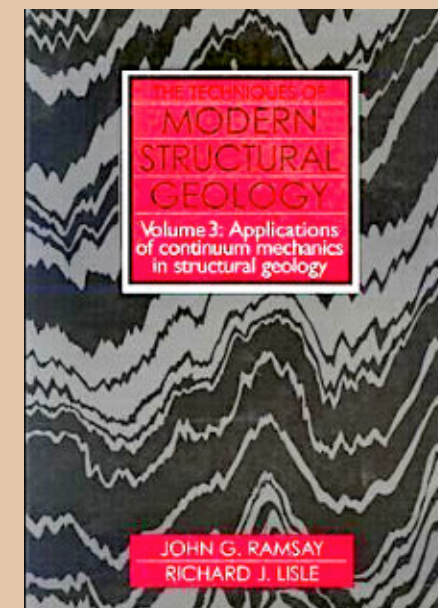
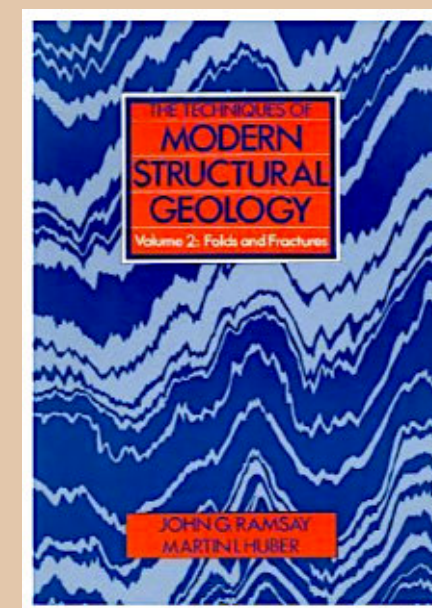
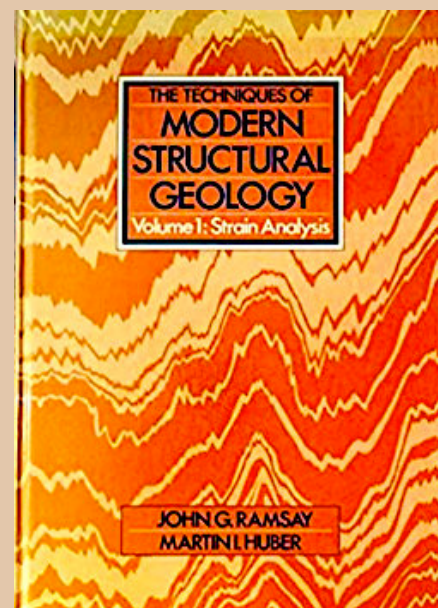
Alejandro Hinojosa Corona

Michel E. Hendrickx

Libro electrónico: <http://mardecortesprofundo.org/PDFs/libroMarprofundoGC.pdf>



## El libro recomendado



### John Ramsay

(1931- 2021) British Structural Geologist

John Ramsay is unquestionably the “father of modern structural geology.” Although there were several researchers who attempted to integrate quantitative analysis into their studies, structural geology was largely a descriptive discipline into the 1960s. It concentrated on the shapes and associations of folds, faults, and cleavage and devised classifications on these bases. Ramsay assembled all of the quantitative techniques that had been devised by the few structural geologists who had even attempted such exercises. His real contribution, however, was to take the science a step forward. He integrated these studies that attempted to provide a quantitative basis for strain and explained them in terms of continuum mechanics. He also integrated his own studies of deformed passive markers which show the deformation of a rock but which are not formed in the process. These passive markers include features like fossils of all types, certain sedimentary structures (mud cracks, oolites, pebbles in conglomerate, etc.), certain volcanic structures (vesicles, etc.), xenoliths in plutons and others. By knowing the original shape of the feature and comparing it to the deformed state, an equation of strain can be written based upon the geometrical changes. Although these changes are mathematically complex, requiring a tensor solution using matrix algebra, by making certain assumptions and issuing certain requirements to the features, a relatively simple solution can be used in many cases. Ramsay devised a series of trigonometric and statistical solutions to these deformed features that he summarized in a landmark 1967 textbook entitled Folding and Fracturing of Rocks.

These new methods, now readily available in a single textbook, sparked a revolution in structural geology that had fallen well behind many of the other subdisciplines of geology in terms of quantitative analysis. Structural geology would go on to utilize many other principles of engineering and material science. Most of Ramsay’s work involved the best examples of deformed features rather than field studies. Those field studies that he performed were on single outcrop examples and largely in Great Britain or the Swiss Alps. One of his regional topics of interest was the study of large shear zones especially with regard to their passage from basement to cover rocks. Ramsay was always noted for his ability to find the most beautiful examples of deformed rocks to analyze. Late in his career, he produced a two-volume manual entitled The Techniques of Modern Structural Geology with some of the most outstanding photographs of deformed rocks. These volumes also have become classics.

John Ramsay was born on June 17, 1931, in England. He received his primary education at the Edmonton County Grammar School in England before attending Imperial College in London. He earned a bachelor of science degree in geology in 1952. That year he married Sylvia Hiorns but the marriage ended in divorce in 1957. He remained at Imperial College for his graduate studies and earned a Ph.D. in geology in 1955. He then performed military service with the Royal Corps of



Engineers until 1957, and he also played in the military band. In 1957, he returned to Imperial College as part of the academic staff and remained until 1973. John Ramsay married Christine Marden in 1960, but that marriage ended in divorce in 1987. They had four children but one daughter died in her youth. In 1973, Ramsay moved to the University of Leeds, England, where he served as department chair. He joined the faculty at the Swiss Federal Institute (ETH) in Zurich in 1977 and spent the rest of his career there. John Ramsay married Dorothee Dietrich in 1990 and remains married today. He retired to professor emeritus in 1992. Upon retirement he moved to France where he continues to enjoy playing the cello (concert quality) and writing poetry, but devotes less interest to Earth sciences.

**John Ramsay led a very productive career** having authored numerous scientific articles and reports in international journals and professional volumes. Many of them are groundbreaking studies of the application of continuum mechanics to rocks. He also wrote three textbooks that are regarded by many as the “bibles” of modern structural geology. In recognition of these outstanding contributions to geology, John Ramsay has received numerous honors and awards. He is a Fellow of the Royal Society of London and a member of the U.S. National Academy of Sciences. He received an honorary doctor of science degree from Imperial College. He received both a Best Paper Award and the Career Contribution Award from the Structure and Tectonics Division of the Geological Society of America in addition to the Prestwich Medal from the Geological Society of France. He received most of the awards offered by the Geological Society of London including the Wollaston Award, the most prestigious award.

**John Ramsay also performed extensive** service to the Earth science profession. He established the first tectonics studies group in the world within the Geological Society of London. He was also the vice president of the Geological Society of France, among other functions. He served on several committees and panels for the National Environmental Research Council (NERC) in England.



John Ramsay



Dra. Susana A. Alaniz Álvarez



## El Centro de Geociencias

### de la Universidad Nacional Autónoma de México

**CONVOCA**

a egresados de una licenciatura en Ciencias de la Tierra, maestros de educación básica y media, y a personas interesadas en la divulgación de la ciencia a participar en el



# Diplomado en Enseñanza de Ciencias de la Tierra







**Inscripciones: 01 de mayo al 30 de junio del 2021**

Duración: 125 h, inicia el 1 agosto del 2021

Costo único: MX \$ 5000.00, US\$ 250.00

Formulario de inscripción:  
<https://forms.gle/cmFCpDjgc8PxQGPD7>

**Informes:**

Correo electrónico: [diplomadoCT@geociencias.unam.mx](mailto:diplomadoCT@geociencias.unam.mx)

Página web: <https://sites.google.com/view/diplomado-en-ensenanza-de-ct>



<https://forms.gle/cmFCpDjgc8PxQGPD7>

<https://sites.google.com/view/diplomado-en-ensenanza-de-ct>

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2020  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**Análisis tectonoestratigráfico del sector sur de la Cuenca Ayuquila, Oaxaca, México. Su implicación tectónica**

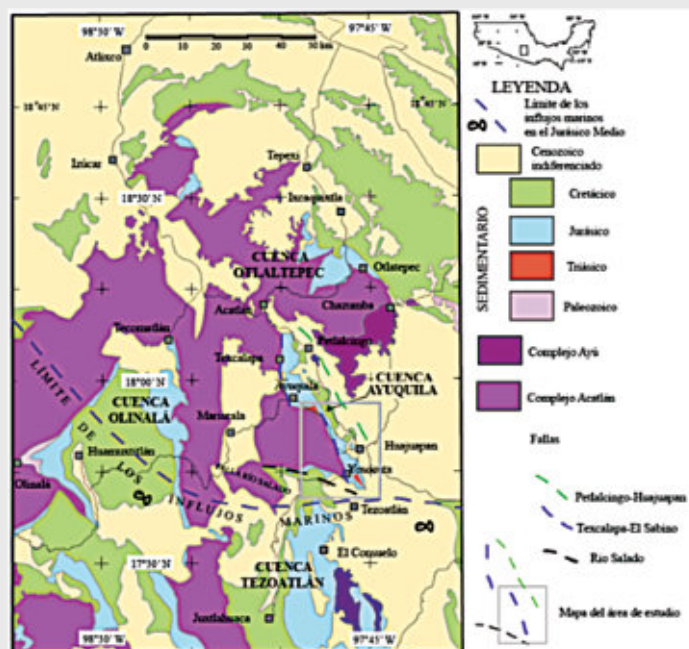
Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra

Sustentante: **Alam Israel de la Torre González** (Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM)

Asesor: Dr. Gilberto Silva Romo (Facultad de Ingeniería, UNAM)

**Resumen**

Se realizó el análisis de los rasgos estructurales sin-sedimentarios y las características sedimentológicas-estratigráficas de la Formación Ayuquila expuesta en el sector sur de la Cuenca Ayuquila. La Cuenca Ayuquila es una cuenca Jurásica elongada en dirección NNW en el sur de México. E este trabajo se presenta un modelo para la cinemática de las estructuras involucradas en la apertura de la Cuenca en el marco de la ruptura de Pangea y del ambiente de depósito de la Formación Ayuquila. De acuerdo con el análisis realizado, se propone que la Formación Ayuquila representa la evolución de un sistema fluvial del Jurásico Medio, desde un ambiente de corrientes trenzadas en el sector norte, hasta facies propias de un sistema fluvial meándrico en el sector del sur. Se propone la Cuenca Ayuquila como una cuenca tipo pull-apart derecha con elongación en sentido aproximado norte-sur que se asume corresponde al régimen tectónico regional durante la ruptura de Pangea. Cuando se generaron una serie de cuencas elongadas en dirección NNW, cuya formación desarticuló al Paleo Río La Mora-Sanozama, sistema fluvial mayor cuyas facies de planicie de inundación atestiguan, en sus rasgos estructurales en las cercanías de Chilixtlahuaca, el desplazamiento lateral derecho del Sistema de Falla Texcalapa-El Sabino, límite occidental de la Cuenca Ayuquila. De acuerdo a su contenido de circones detríticos, la Formación Ayuquila comenzó a acumularse hace no más de 174 Ma. Por otra parte, con base en la edad del litodema Chilixtlahuaca emplazado en el Sistema de Falla Texcalapa-El Sabino el proceso de apertura de la Cuenca Ayuquila cesó aproximadamente hace 164 Ma. Así, en este trabajo se proponen régimen tectónico lateral derecho con un rumbo general norte-sur que afectó al Sur de México en el marco de la divergencia de Sudamérica y Norteamérica durante el proceso de disgregación de la Pangea.



**Figura 3.** Mapa geológico regional del Terreno Mixteca en donde se muestra la Cuenca Ayuquila y el área correspondiente a este trabajo, se muestran además las cuencas jurásicas aledañas. Figura modificada de Campos-Madrigal et al. (2013).

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**Sismotectónica del Golfo y el Istmo de Tehuantepec**

Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra

Marzo de 2021

Sustentante: **Adolfo David Robayo Robayo** (Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM)

Asesor: Dr. Marco Guzmán Speziale (Centro de Geociencias, UNAM)

**Resumen**

En este trabajo se estudia la sismotectónica del istmo y golfo de Tehuantepec, sureste de México. Esta región es importante desde el punto de vista tectónico por estar ubicada en el área de deformación donde interactúan tres placas tectónicas: Norte América, Caribe y Cocos, y también porque fue sitio epicentral del sismo Mw 8.2 del 8 de septiembre de 2017.

Se analizan los hipocentros y el tensor de momento sísmico para terremotos de distintos catálogos, en el golfo e istmo de Tehuantepec, entre 1964 y 2019 para hipocentros, y 1976 a 2019 para tensores de momento sísmico, eventos que ocurrieron en la zona intraplaca, así como dentro de la placa subida de Cocos. Se considera la distribución de los hipocentros, la dirección inclinación de los ejes T y P de los mecanismos focales para proponer una división de ambientes sismotectónicos en tres áreas: área 1 ubicada en la parte central de México, y que corresponde a la subducción de Cocos bajo Norte América; área 2 conformada por el istmo y parte norte del golfo de Tehuantepec, que es región de transición entre las dos subducciones; y el área 3 que comprende la región limítrofe México y Guatemala que implica la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe.

Además, se determinó el campo de esfuerzo local mediante conjuntos de mecanismos focales haciendo inversión de esfuerzos. Se encontraron cambios significativos en la dirección e inclinación de los ejes de esfuerzo principal  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , en cada uno de los ambientes, los cuales son consistentes en su mayoría con los ejes P y T. La inversión de esfuerzos permitió observar el patrón de distribución de forma que forman los ejes P y T denominada “alas de mariposa” o patrón de “dos alas” que se asocian a sistemas conjugados de dos fallas principales, a profundidad mayor a 40 km. Este patrón de dos alas es poco común y no ha sido reportado en la literatura en el sureste de México. Además, fue posible definir valores de fricción entre 0.45 y 0.8 a profundidades de 40 km o más.



**Figura 2.1.** Mapa de marco tectónico regional y el área de estudio señalada en el cuadro color negro que comprende la parte central y sur de México. Se marca la dorsal de Tehuantepec y los límites de placas Cocos-Norteamérica-Cocos y Caribe-Norteamérica con líneas de color rojo.





**Selected dissertation presented at the Dept. of Earth, Environmental and Resource Sciences, The University of Texas at El Paso**

**MINERAL EXPLORATION INVESTIGATION IN THE NORTHERN SIERRA MADRE OCCIDENTAL, MEXICO**  
by  
**LABDAN NIJR ALQAHTANI**

**2019**

**ABSTRACT**

The Sierra Madre region is rich in mineralized deposits, but it is hard to access because of the rugged terrain. Remote sensing and GIS can help in mineral exploration and regional structural analysis. The purpose of this project is to study linear, curvilinear, arcuate, and circular features in the Sierra Madre Occidental of Mexico in order to improve exploration possibility. It is of great interest to know the relationship between lineament intersections, caldera features because of the location of potential mineral occurrences. In this study, 4,445 lineaments were mapped manually using directional filters applied to satellite images. A total of 26,031 lineaments were extracted automatically with the line module of PCI Geomatica based on automatic detection algorithms (canny algorithms). The remote sensing analysis successfully identified 34 first-order lineaments (FOL) with lengths > 15 km. The FOL help to identify horsts, grabens, and strike-slip faults. The contrast in results between FOL and third-order (TOL) (less than 3 km) is interpreted to represent predominately early versus late tectonic events. The remote sensing analysis identified 17 new previously unknown calderas. Mineral occurrences and mines are generally but not exclusively associated with caldera rims and internal fractures and faults. A positive correlation exists between FOL and mineral occurrences. These results can be useful for future mineral exploration.

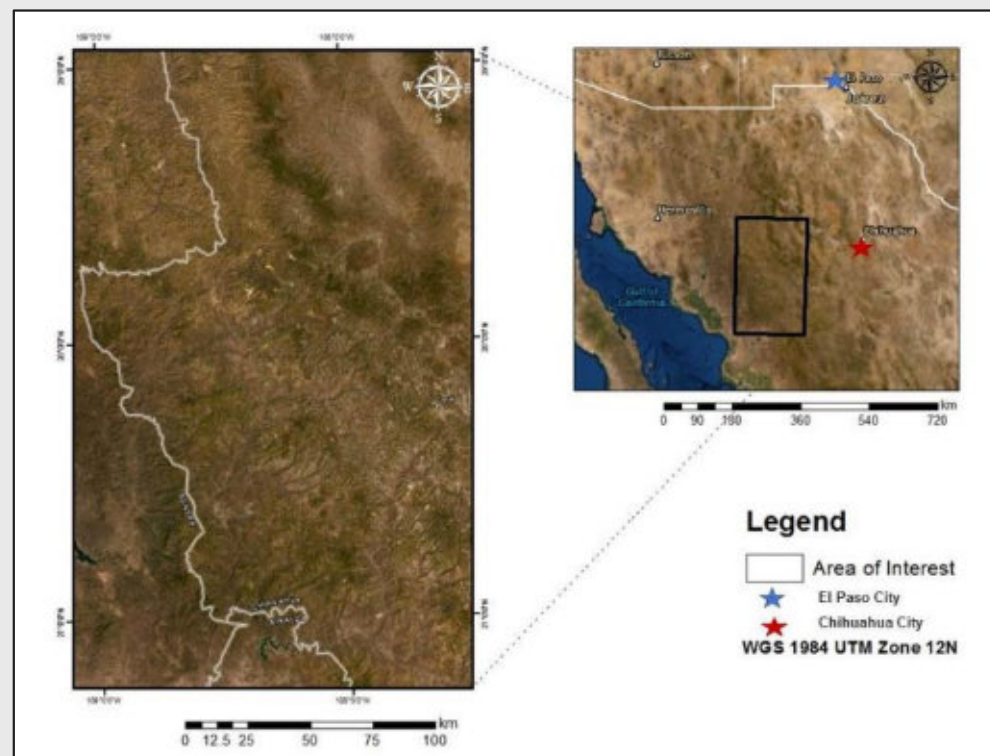


Figure 1: The area of interest (270x164 km).

**TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2020**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO: FACULTAD DE GEOGRAFÍA**

**Geología ambiental y peligros geológicos a lo largo de las fallas de tenango, Estado de México**

Tesis de Licenciatura en geología ambiental y recursos hídricos - 2020

Presenta: **RUTH ARACELI OLIVARES SÁNCHEZ**

Asesor: Dr. en C.T. Edgar Angeles Moreno

**Resumen**

Las fallas Tenango son estructuras tectónicas activas con una longitud aproximadamente de 50 km, que se encuentran dentro del sector occidental del Campo Volcánico Chichinautzin y limitan a la cuenca del Valle de Toluca en la parte Sur. Las fallas de acuerdo a trabajos antecedentes publicados, han controlado durante el Pleistoceno tardío-Holoceno el vulcanismo monogenético del Campo Chichinautzin, los colapsos en el flanco este del Volcán Nevado de Toluca y la actividad sísmica del área a estudiar en este trabajo. Existen trabajos en la literatura referente a las fallas Tenango como la de García-Palomo et al. (2000) y Norini et al. (2006) que describen su morfología y cinemática, sin embargo, son trabajos regionales, puramente geológicos y que no profundizan a escala de la propia falla desde un punto de vista geológico ambiental, de los peligros geológicos que existen entorno a estas fallas como los de índole sísmica, volcánica, derrumbes y del propio fallamiento. El presente trabajo permite generar un conocimiento geológico-estructural básico sobre la actividad de las fallas Tenango, situadas geográficamente dentro de los municipios de Tenango del Valle, Tenancingo de Degollado, Joquicingo, Malinalco y Ocuilán. El objetivo principal de este trabajo es analizar los peligros geológicos a lo largo de las trazas de las fallas de Tenango y zonas adyacentes con base en la cartografía geológico-ambiental. Las metodologías empleadas comprendieron las referentes a la investigación documental, fotointerpretación documental, geología de campo, cartografía geológica e integración y análisis de resultados.

Se definieron varias unidades geológicas informales con base en el análisis estratigráfico (andesitas Tecomatlán-San Simonito, flujos piroclásticos de Calimaya, complejo de domos Cerro Tenango, unidad Cerro Muntepec, complejo de domos Santa María Jajalpa, domos Joquicingo, unidad Acatzingo, secuencia fluvio-lacustre Chignahuapan) cuyas rocas volcánicas varían predominantemente de andesitas a andesitas-basálticas y en menor proporción rocas volcánicas dacitas, que van en edad desde el Mioceno-tardío al Plio- Cuaternario para el bloque del alto y del bajo de las fallas Tenango. Así como también, se definieron varios sistemas de fallas, fracturas y lineamientos estructurales, denominados: Sistema de Fallas Tenango (E-W), sistema de fallas Tlanixco (N-S), sistemas de fallas Jajalpa (NE-SW), sistema de fallas Tenancingo con orientación NW-SE y NE-SW, sistema de fallas de la Sierra las Cruces con orientaciones preferenciales al NE-SW y E-W, lineamiento Chichinautzin (E-W), lineamiento Holotepec (N-S), lineamiento Santiaguito (E-W) y lineamiento Rayón (E-W).

Y por último se analizaron los peligros geológicos por sísmica y vulcanismo identificados a lo largo de las fallas Tenango, y algunos peligros geológicos relacionados a la inestabilidad de laderas como la presencia de derrumbes de bloques asociados al movimiento de las fallas Tenango. Estos peligros identificados indican que, para los municipios de Tenango del Valle, Calimaya, Santa María Rayón y San Antonio La Isla toman el carácter de riesgos geológicos, ya que varias poblaciones se encuentran asentadas en los municipios mencionados y son particularmente vulnerables al riesgo sísmico y volcánico.

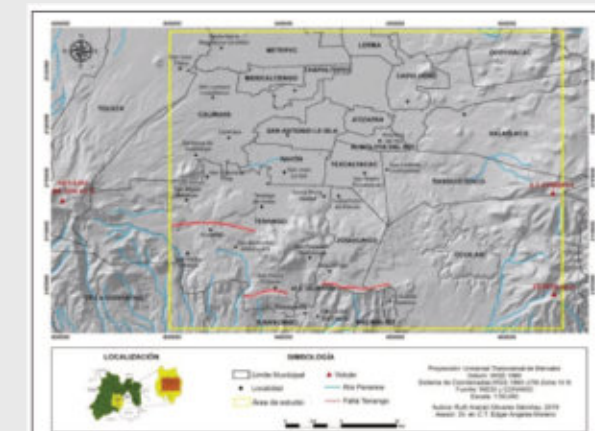


Figura 1.1 Mapa de ubicación del área de estudio con las fallas Tenango.

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

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

Tesis de Licenciatura

Ing. Geofísica, Alejandro Brena Hernández

Resumen

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

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

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

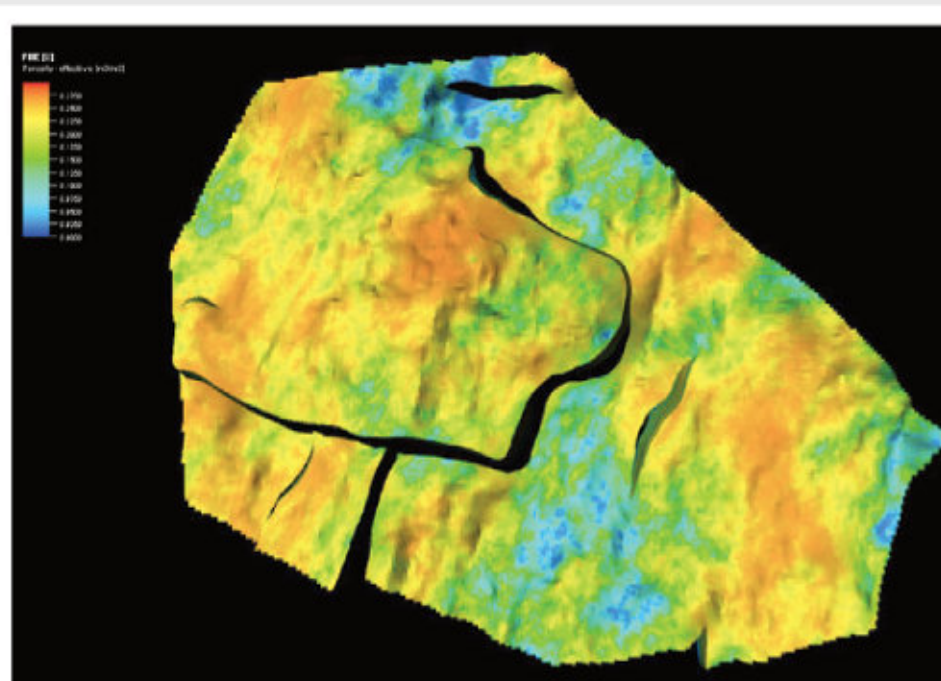


Figura 72. Modelo petrofísico final de Porosidad Efectiva de la unidad 2.

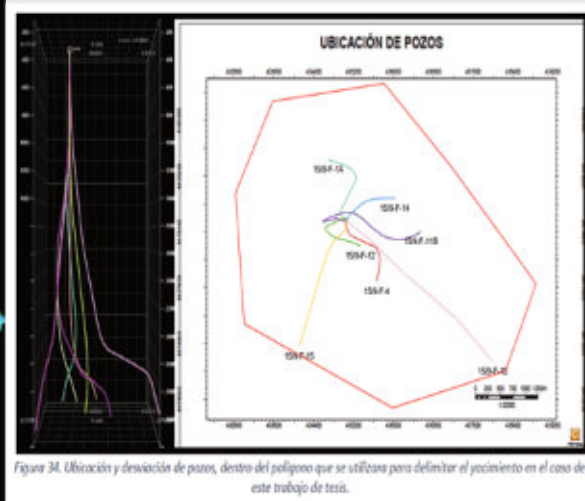


Figura 34. Ubicación y desviación de pozos, dentro del polígono que se utilizó para delimitar el yacimiento en el caso de este trabajo de tesis.

TESIS SELECTA PRESENTADA DURANTE EL 2021  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

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

Tesis de Licenciatura

Ing. Geofísica

Jonathan De La Rosa Maldonado

Resumen

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

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

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



# Centros de Tecnología

Laboratorio de Paleomagnetismo, Ciudad Universitaria  
 Instituto de Geofísica  
 Universidad Nacional Autónoma de México

Realizado por:  
 Dr. Luis Manuel Alva Valdivia  
 Dra. Cecilia Caballero Miranda

Página web:  
<http://dev-lab-paleomagnetismo-unam.pantheonsite.io/>

### Personal

#### Investigadores

- Dr. Luis Manuel Alva Valdivia (Titular C)
- Dr. Beatriz Ortega Guerrero (Titular B)
- Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi (Titular C)

#### Técnicos Académicos

- Dra. Cecilia I. Caballero Miranda (Titular C)
- M.C. José Antonio González Rangel (Titular A)
- Dra. Ana M. Soler Arechalde (Titular C)

#### Personal administrativo

- Martín Espinoza Pérez
- Víctor Macías Aviña

### Historia y Misión

#### Historia

El Laboratorio de Paleomagnetismo de Ciudad Universitaria (LP-CU), Ciudad de México, inició en la década de los 70's. Es el segundo en formarse en Latinoamérica, solo después de que iniciara el Laboratorio de Paleomagnetismo en Buenos Aires, Argentina (60's), en un momento clave en las Ciencias de la Tierra, debido a que se desarrollaban las bases de la Teoría de la Tectónica de Placas, en la que el paleomagnetismo jugó un papel fundamental.

El primer sitio de alojamiento del LP-CU fue la edificación conocida como "El Pozo", inserta en áreas de lo que ahora es la Facultad de Veterinaria, Ciudad Universitaria, en ese entonces alejada de construcciones. Actualmente, ocupa diversos espacios esparcidos en el Edificio Principal (EP), Edificio Anexo (EA) y El Pozo (Pz), instalaciones que forman parte del Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria. Prácticamente, ninguna de las áreas que ocupa el LP-CU fue diseñada *ex profeso* para albergar los instrumentos de medición, por lo que dichas áreas han sido remodeladas-adaptadas en cierta medida para ello. Los equipos que actualmente se encuentran en servicio tienen una antigüedad de poco más de 25 años (1992, marcados con \*).

#### Misión

Emplear y desarrollar las técnicas de paleomagnetismo y magnetismo de rocas de vanguardia mundial, a fin de resolver problemas de investigación científica articulados con diversas disciplinas (p.ej., geología, arqueología, ciencias de los materiales, etc.) y subdisciplinas de la Ciencias de la Tierra (geología ambiental, geología estructural,

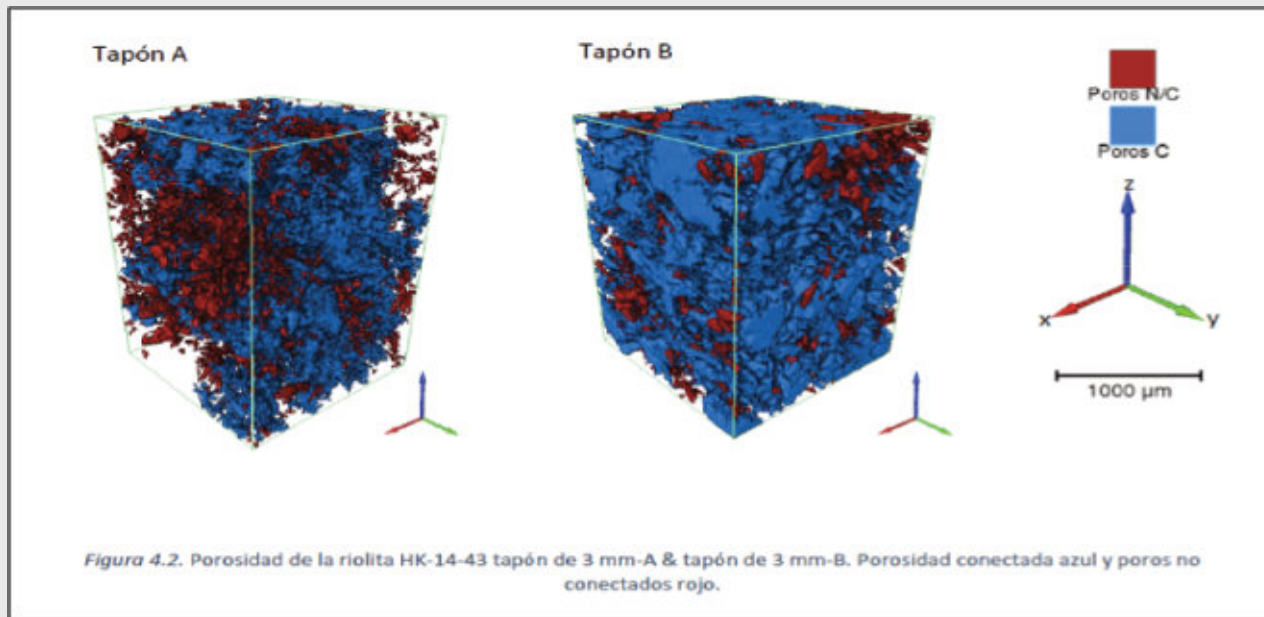


Figura 4.2. Porosidad de la riolita HK-14-43 tapón de 3 mm-A & tapón de 3 mm-B. Porosidad conectada azul y poros no conectados rojo.

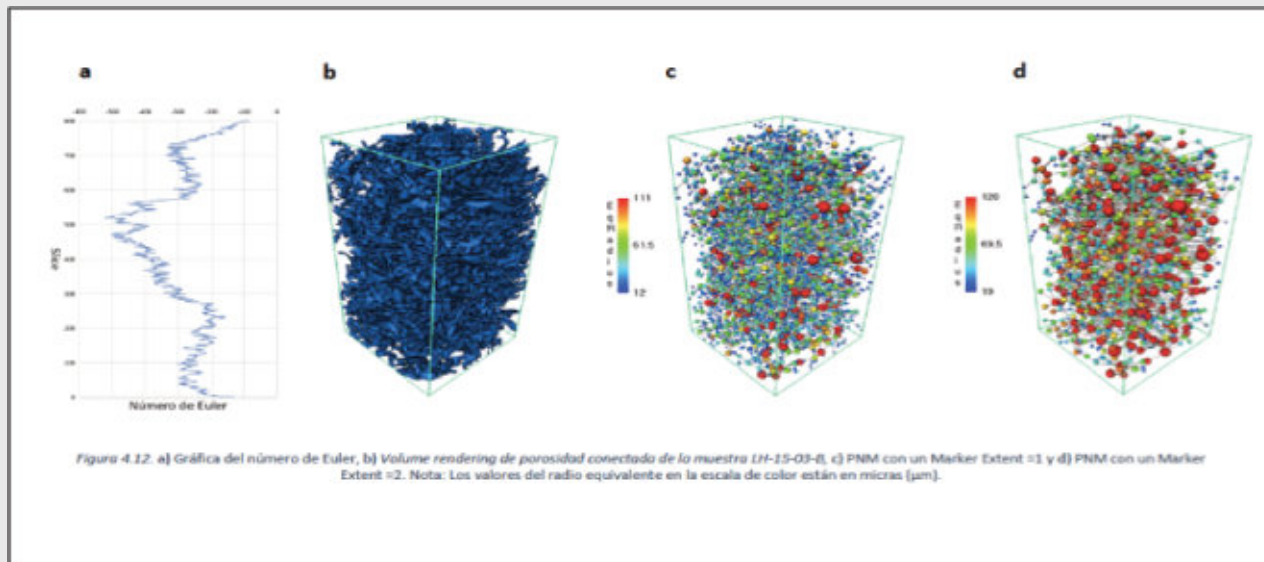


Figura 4.12. a) Gráfica del número de Euler, b) Volume rendering de porosidad conectada de la muestra LH-25-03-B, c) PNM con un Marker Extent =1 y d) PNM con un Marker Extent =2. Nota: Los valores del radio equivalente en la escala de color están en micras [µm].

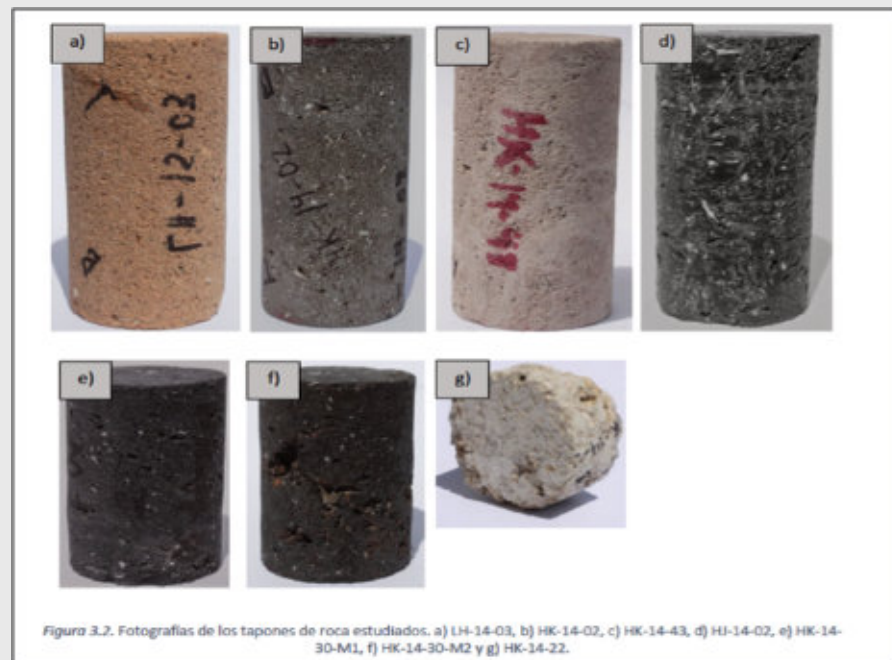


Figura 3.2. Fotografías de los tapones de roca estudiados. a) LH-14-03, b) HK-14-02, c) HK-14-43, d) HI-14-02, e) HK-14-30-M1, f) HK-14-30-M2 y g) HK-14-22.

geofísica de exploración, paleontología, yacimientos minerales, etc.) (Figura1). El LP-CU tiene la premisa de generar conocimiento fundamental que involucre desde el funcionamiento de la geodínamo a través del conocimiento del campo magnético terrestre del pasado, hasta la interacción de las nanopartículas magnéticas en las rocas. Dicho conocimiento contribuirá al entendimiento de diversos procesos ambientes y fenómenos en todo el Sistema Tierra (i.e., geósfera, hidrósfera, atmósfera y biósfera).

## Objetivos del Laboratorio

El LP-CU tiene como objetivo analizar y comprender las propiedades magnéticas naturales e inducidas de rocas, sedimentos, suelos, objetos arqueológicos y, en general, de cualquier tipo de material objeto de investigación, a fin de llevar a cabo reconstrucciones y/o modelos espaciales y temporales (p.ej., geológicos, paleogeográficos, tectónicos, paleo-ambientales, arqueológicos, etc.), o bien, del registro de eventos registrados en estos materiales, como puede ser descifrar “la historia magnética” de rocas y minerales desde el momento de su formación y hasta la actualidad.

## Tipo de análisis o estudios

En todos los estudios se hace trabajo de campo para la colecta de muestras discretas o continuas (núcleos o bloques orientados). El primer paso de trabajo es la selección de los sitios de muestreo (Figura 2). El segundo paso es el diseño de las mediciones y experimentos magnéticos por efectuar (Figura 3), dependiendo del planteamiento del problema de la investigación, concluyendo con su cuidadosa ejecución. El tercer paso es el análisis de los resultados de las mediciones y experimentos de laboratorio, terminando con la interpretación del conjunto de resultados.

Se analiza la magnetización remanente natural e inducida, así como en ocasiones la susceptibilidad, durante la serie de pasos de “lavado magnético” (térmico y/o de campos magnéticos alternos), con el fin de identificar la magnetización original (primaria) de los materiales analizados, o alguna otra magnetización posterior de importancia y en su caso monitorear las posibles alteraciones químicas durante los lavados térmicos. Los resultados se emplean para calcular las direcciones del campo magnético terrestre del pasado (geológico) y consecutivamente los polos virtuales geomagnético y paleopolos paleomagnéticos (ver detalles: Butler, 1992). Posteriormente, se realizan diversos experimentos para analizar las propiedades magnéticas del material de estudio, con el fin de identificar las diferentes componentes de la mineralogía magnética; tales como: la variación de la magnetización debido a la aplicación de un campo magnético inducido, la susceptibilidad a diferentes frecuencias, la variación de la susceptibilidad al incrementar y/o disminuir la temperatura, etc.

Asimismo, se analiza la anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS, por sus siglas en inglés) o la anisotropía de remanencia magnética (ARM, por sus siglas en inglés), con el objetivo de conocer la fábrica magnética de las rocas e inferir las direcciones de flujo probables, identificar fuentes de aporte sedimentario o direcciones de paleo-esfuerzo y la deformación de las rocas; o bien como una herramienta auxiliar para evaluar el origen de la magnetización del material estudiado.

## Líneas de investigación

- Tectónica y geología estructural (T).
- Por ejemplo: García-Amador et al. (2020)
- Aplicaciones en Vulcanología (V).
- Por ejemplo: Alva-Valdivia et al. (2018)
- Aplicaciones en Paleolimnología (pL), en Paleoceanografía (pO) y en Paleosuelos (pS)
- Por ejemplo: Ortega-Guerrero et al. (2020)
- Propiedades magnéticas de rocas y minerales (MR)
- Por ejemplo: Rivas-Sánchez et al. (2009)
- Variación paleosecular y paleointensidades (pl)
- Por ejemplo: Mahgoub et al. (2021)
- Arqueomagnetismo (Aqm)
- Por ejemplo: Hervé et al. (2019)
- Exploración en yacimientos de hierro (Fe)

Por ejemplo: Alva-Valdivia et al. (2010)

- Cráter Chicxulub (Ch)

Por ejemplo: Gulick et al. (2013)

## Infraestructura principal

1. Magnetómetros de giro de muestras estándar: 4 Agico (2 JR6, 2 JR5\*) y 1 Molspin.
2. Magnetómetros de micromuestras: 1 VSM, 1 Micromag Princeton Measurements\*.
3. Desmagnetizadores térmicos y de campos alternos (CA): 5 térmicos (ASC Scientific, Shonstedt Instrument, MMTD-UK\*) y 3 de CA (Molspin).
4. Magnetizadores de pulsos: 1 Molspin y 2 “fabricados en el LP-CU”
5. Susceptibilímetros: 3 Bartington, 2 Agico (1 KLY2 y 1 MFK2), 1 de cada marca mide a diversas frecuencias y temperaturas, los 2 Agico miden AMS.
6. Microscopios ópticos: 1 petrográfico Leica y 1 estereográfico Leica
7. Equipos de preparación de muestras (varios): 1 cortadora de núcleos, 1 perforadora de núcleos en muestras de bloque, 2 perforadoras portátiles.

Algunos equipos se comparten con los laboratorios de Paleolimnología y Paleoceanografía teniéndolos bajo su resguardo.

## Productos de Laboratorio

Artículos de investigación publicados en diversas revistas indexadas y reportes de resultados (estos últimos sobre todo en el caso de los estudios arqueomagnéticos que se entregan a personal y/o colaboradores del INAH).

## Impacto en la investigación o en la sociedad.

Los estudios realizados en el laboratorio tienen impacto en diversas áreas de investigación, dependiendo de las líneas de investigación relacionadas:

Algunos ejemplos de impacto son en reconstrucciones tectónicas-paleogeográficas (rotaciones y/o paleoposición de bloques), determinación de temperatura de emplazamiento de materiales volcánicos y su posible riesgo a futuro, reconstrucción de impactos meteoríticos, reconstrucciones paleogeográfico-ambientales y paleoclimatológicas, reconstrucciones arqueológicas. Contribución al conocimiento del campo magnético del pasado (sus variaciones de intensidad y polaridad) y los mecanismos para su registro en las rocas. Así como, desarrollo de modelos geológicos de yacimientos de hierro a partir de las propiedades magnéticas y estudios de magnetometría.



## Referencias citadas

- Alva-Valdivia, L.M., Agarwal, A., Caballero-Miranda, C., García-Amador, B.I., Morales-Barrera, W., Rodríguez-Elizarraráz, S., Rodríguez-Trejo, A., 2016. Paleomagnetic and AMS studies of the El Castillo ignimbrite, central-east Mexico: Source and rock magnetic nature. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.02.014>
- Alva-Valdivia, L.M., Rivas, M.L., Goguitchaichvili, A., Urrutia-Fucugauchi, J., Gonzalez, J.A., Morales, J., Gómez, S., Henríquez, F., Nyström, J.O., Naslund, R.H., 2003. Rock-magnetic and oxide microscopic studies of the el laco iron ore deposits, Chilean andes, and implications for magnetic anomaly modeling. *International Geology Review* 45, 533–547. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.45.6.533>
- Butler, R.F., 1992. *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic terranes*, Electronic edition. <https://doi.org/10.1006/icar.2001.6754>
- García-Amador, B.I., Alva-Valdivia, L.M., Palacios-García, N.B., Pompa-Mera, V., 2020. Paleomagnetism and Geochronology of the Early Cretaceous Dipilto Batholith (NW Nicaragua): Chortís Block Large Rotation With Respect to SW North America. *Tectonics* 39. <https://doi.org/10.1029/2019TC005540>
- Gulick, S.P.S., Christeson, G.L., Barton, P.J., Grieve, R.A.F., Morgan, J.V., Urrutia-Fucugauchi, J., 2013. GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE CHICXULUB IMPACT CRATER. *Reviews of Geophysics* 51, 31–52. <https://doi.org/10.1002/rog.20007>
- Hervé, G., Perrin, M., Alva-Valdivia, L., Tchibinda, B.M., Rodríguez-Trejo, A., Hernandez-Cardona, A., Tello, M.C., Rodríguez, C.M., 2019. Critical analysis of the Holocene palaeointensity database in Central America: Impact on geomagnetic modelling. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 289, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2019.02.004>
- Mahgoub, A.N., García-Amador, B.I., Alva-Valdivia, L.M., 2021. Comprehensive palaeomagnetic study of San Borja and Jaraguay monogenetic volcanic fields, Baja California (28–30°N): considerations on latitudinal corrections. *Geophysical Journal International* 225, 1897–1919. <https://doi.org/10.1093/gji/ggab064>
- Ortega-Guerrero, B., Avendaño, D., Caballero, M., Lozano-García, S., Brown, E.T., Rodríguez, A., García, B., Barceñas, H., Soler, A.M., Albarrán, A., 2020. Climatic control on magnetic mineralogy during the late MIS 6 - Early MIS 3 in Lake Chalco, central Mexico. *Quaternary Science Reviews* 230. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106163>
- Rivas-Sánchez, M.L., Alva-Valdivia, L.M., Arenas-Alatorre, J., Urrutia-Fucugauchi, J., Perrin, M., Goguitchaichvili, A., Ruiz-Sandoval, M., Ramos Molina, M.A., 2009. Natural magnetite nanoparticles from an iron-ore deposit: Size dependence on magnetic properties. *Earth, Planets and Space* 61, 151–160. <https://doi.org/10.1186/BF03352895>

**Dr. Luis Manuel Alva Valdivia**

<https://www.researchgate.net/profile/Luis-Alva-Valdivia>

**Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi**

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Jaime-Urrutia-Fucugauchi-2133293485>

**Dr. Beatriz Ortega Guerrero**

[https://www.researchgate.net/publication/319607855\\_Lithostratigraphy\\_and\\_physical\\_properties\\_of\\_lacustrine\\_sediments\\_of\\_the\\_last\\_ca\\_150\\_kyr\\_from\\_Chalco\\_basin\\_central\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/319607855_Lithostratigraphy_and_physical_properties_of_lacustrine_sediments_of_the_last_ca_150_kyr_from_Chalco_basin_central_Mexico)

**Dra. Cecilia I. Caballero Miranda**

<https://www.researchgate.net/profile/Cecilia-Irene-Caballero-Miranda>

**M.C. José Antonio González Rangel**

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Jose-Antonio-Gonzalez-Rangel-2107643502>

**Dra. Ana M. Soler Arechalde**

<https://www.researchgate.net/profile/Ana-Soler-Arechalde>

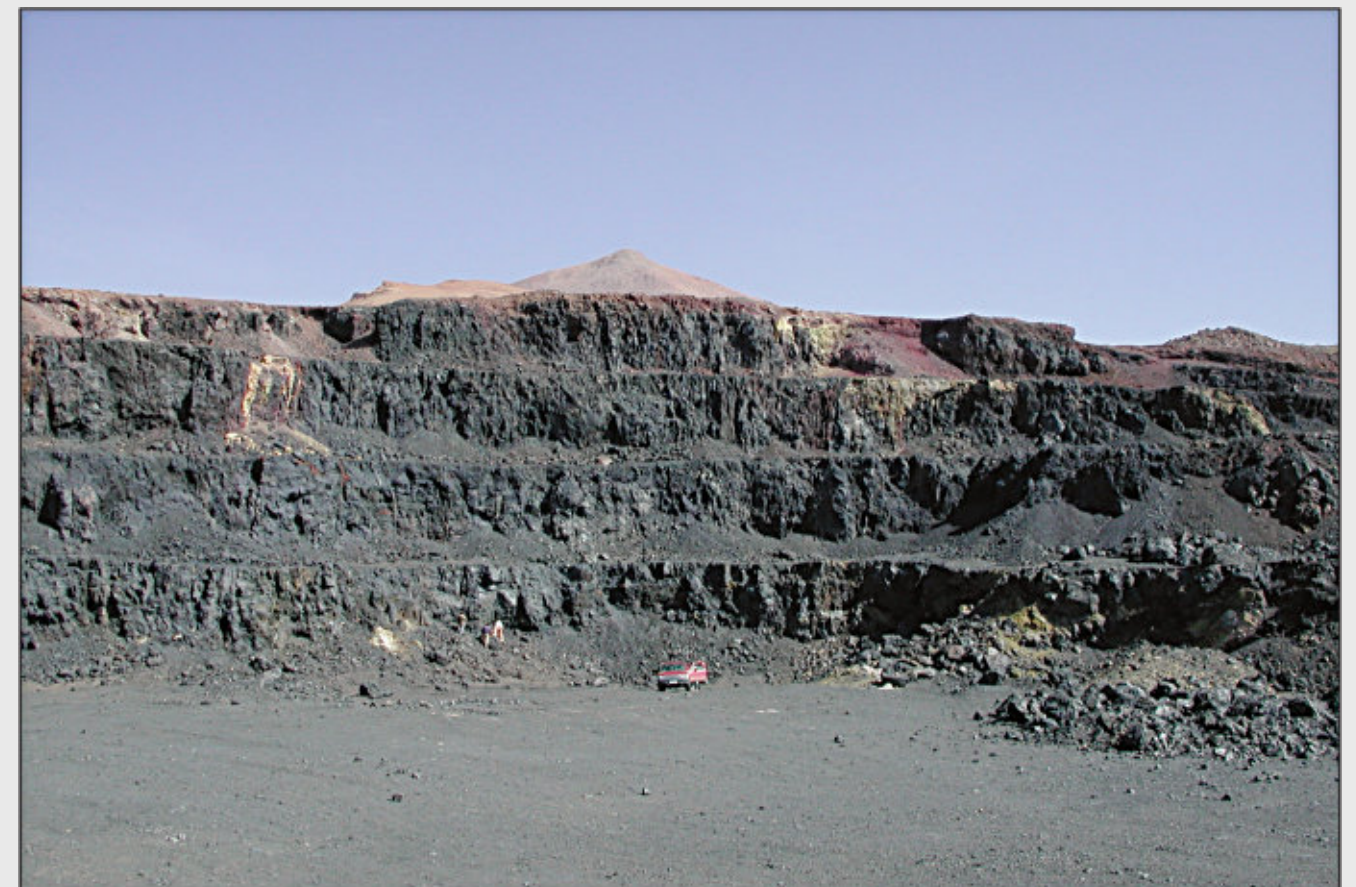




Figura 1. Cuatro fotografías de yacimiento de Fe en El Laco, los Andes Chilenos.



Figura 2. Muestreo paleomagnético con perforadora de gasolina. Mientras una persona bombea el agua a la perforadora, la otra persona perfora un núcleo de roca de ~12 cm de largo por 1" de diámetro.



Figura 3. Preparación de muestras, núcleos perforados, en el LP-CU antes de ser analizadas en los equipos de paleomagnetismo.



Visítanos en Facebook y hazte miembro: Mexico Petroleum Geology

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

**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://www.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)

El Código de Nomenclatura Estratigráfica está disponible en el siguiente sitio en la red:

[https://www.researchgate.net/publication/330409455\\_North\\_American\\_Stratigraphic\\_Code](https://www.researchgate.net/publication/330409455_North_American_Stratigraphic_Code)

**Aquí puedes bajar la Tabla Cronoestratigráfica Internacional:**

<https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-07.pdf>

**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>

## Consortios de Investigación

En varias universidades de Estados Unidos se han establecido numerosos consorcios para atender la demanda de especialidades geológicas de la industria del petróleo. Esto ha permitido que los grupos de investigación y académicos en dichas universidades, perciban ingresos económicos que utilizan para el desarrollo de proyectos de investigación, y la financiación de equipos y materiales.

A continuación listamos algunos de esos consorcios, para que tengamos una noción de cómo se se organizan sus capacidades en relación con la industria petrolera.

Consortio Interdisciplinario de Carbonatos de Kansas: <https://carbonates.ku.edu/>

Consortio de Cuencas Conjugadas, Tectónica, e Hidrocarburos: <http://cbth.uh.edu/>

Programa de Bases de Datos de Análogos Sedimentarios: <https://geology.mines.edu/research/sand/>

Consortio para Modelado Electromagnético e Inversión: <http://www.cemi.utah.edu/>

Consortio de Investigación de Interacción Sal-Sedimento: <https://www.utep.edu/science/its/>

Consortio de Laboratorio de Geodinámica Aplicada: <https://www.beg.utexas.edu/agl>

Proyecto de Síntesis Depositional: Golfo de México: <https://ig.utexas.edu/energy/gbds/>

Consortio de Investigación de Fracturas y su Aplicación: <https://www.beg.utexas.edu/frac>

Consortio para la Energía Avanzada: <https://www.beg.utexas.edu/aec>

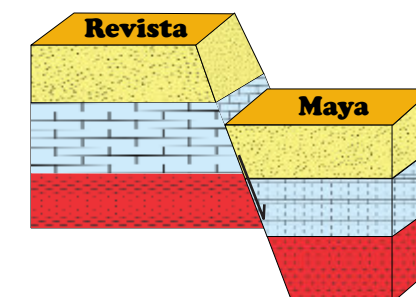
Laboratorio de Sedimentología Cuantitativa: <http://www.qsc.uh.edu/>

Consortio: Análisis Tectónico: <https://www.tectonicalysis.com/#top-bar>

Investigación por Hidrocarburos (EGI): <https://egi.utah.edu/research/hydrocarbon/>

Procesado Sísmico e Interpretación Atributos: <http://mcee.ou.edu/aaspi/>

Laboratorio de Registros de Pozo: [https://www.spwla.org/SPWLA/Technical/Software/WELL\\_LOGGING\\_LABORATORY.aspx](https://www.spwla.org/SPWLA/Technical/Software/WELL_LOGGING_LABORATORY.aspx)



Las fotografías en las páginas 30 - 32 fueron proveídas por:

**Dr. Jordi Tritlla Cambra**

**Geólogo Consultor**

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

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



**Bloque de dacita biotítica plegada y emplazada en un tuff dacítico alterado hidrotermalmente ("green tuff" por la presencia de montmorillonita), debido al colapso de una caldera submarina. Tateyamazaki, Península de Oga, Prefectura de Ákita, NE de Japón.**



**Hialoclastita, alterada hidrotermalmente, con xenolitos de granito y rocas metamórficas, en un alforamiento a lo largo de la playa del Cabo de Nyudozaki, Península de Oga, Prefectura de Ákita, NE de Japón.**



**Tamagawa Hot Spring, (Ákita, NE de Japón). Se trata de un sistema de agua hidrotermal con una fuerte componente magmática, rico en Ra, Pb y Sr, muy radiactivo. La surgencia es a 98°C y presenta un pH de 1.2, uno de los más ácidos que se pueden encontrar en Japón. Esta acidez provoca la destrucción del manto vegetal así como la formación de azufre nativo por oxidación del H<sub>2</sub>S emitido. Asimismo, es la localidad tipo de una barita rica en Pb, con Sr y Ra.**





Tamagawa Hot Spring (Prefectura de Ákita, NE de Japón). Drenaje distante de la fuente termal. El color azulado del agua se debe a la presencia de sílice amorfa en suspensión, una vez el agua ya se está enfriando.

## Imagen internacional del mes



Lutitas negras de cuenca con intercalaciones muy delgadas de areniscas turbidíticas de edad Ordovícico, área de Quebec, Canadá. Fotografía por Claudio Bartolini



Referencias de tesis de licenciatura y posgrado de la UNAM  
sobre Geociencias del Petróleo: de 1949 a 2007

Maruri Carballo, M. Á. (2001). *Evaluaciones geológicas con técnicas de Percepción Remota, Caso 1: Cuenca Tampico-Misantla, Caso 2: Pico de Orizaba.*

Mercado Herrera, V. (2000). *Análisis de AVO en 2-D en el área Reynosa de la Cuenca de Burgos.*

Montes de Ávila, O. (1955). *Geología del campo petrolero Vernet, Tabasco.*

Morales González, J. J. (2007). *Análisis sismoestratigráfico del Plio-Pleistoceno del área Maloob, Sur del Golfo de México, y sus implicaciones en exploración.*

Moreno López, A. (1964). *Exploración petrolera del área de Noyola entre los estados de Tamaulipas y Nuevo León.*

Moreno López, M. (2000). *Inversión de datos Gravimétricos y Magnetométricos en 3-D, con aplicación a la Cuenca Tampico-Misantla.*

Navarro Baca, J. F. (1989). *Interpretación geológico-geofísica de la región de Sal Somera, Estado de Veracruz.*

Ortíz Ubilla, A. (2006). *Evolución Geológico-Estructural de la Región Arcabuz-Culebra, Oeste de la Cuenca de Burgos, Noreste de México.*

Oviedo Lerma, R. E. (2007). *Estratigrafía y sedimentología del play Oligoceno Vicksburg Inferior, Cubo Pipila 3D en la Cuenca de Burgos, Reynosa, Tamaulipas.*

Palacios Farfán, C. G. (2001). *Aplicaciones de registros neutrones en pozos de la Cuenca de Burgos, Reynosa, Tamps.*

Pérez Bautista, J. M. (2006). *Interpretación sismoestratigráfica de la distribución de las arenas de la Formación Midway, (Paleoceno Inferior), en el Campo Velero, Cuenca de Burgos, NE de México.*

Ríos Rasillas, H. (1949). *Aplicación de los métodos geofísicos de exploración en la cuenca salina del istmo para la localización de estructuras geológicas.*

Rodríguez Sandoval, R. (2006). *Mapas de predicción de porosidad en el campo Ébano-Panuco, México, por medio de multiatributos sísmicos y redes neuronales.*

Ruíz Ruíz, J. (1953). *Condiciones geológico petroleras de la región de pedregal, Estado de Veracruz.*

Santiago Acevedo, J. (1955). *Geología del subsuelo del campo petrolero José Colomo, Tabasco.*

Tejeda Galicia, C. M. (2006). *Caracterización geoquímica, petrografía orgánica y evaluación del potencial oleogenerador de las rocas del Oxfordiano (Fm. Santiago) en la parte sur de la Cuenca Tampico-Misantla, México.*

Valdez Gómez, Ma. del R. (1996). *Equinoides Exocíclicos (Echinodermata-Echinoidea) del Terciario de la Cuenca Tampico-Misantla, Tamaulipas-Veracruz, y sus implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas.*

Valdez Llamas, Y. P. (2002). *Análisis geoestadístico de la estratigrafía del subsuelo marino en un área de la Sonda de Campeche.*

Vizcarra Martínez, H. H. (2005). *Análisis secuencial del Paleoceno-Eoceno, y su potencial económico-petrolero, al norte del Campo Velero, en la Cuenca de Burgos, NE de México.*



OCEAN DRILLING PROGRAM (ODP)

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

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

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

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

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

OCEAN DRILLING PROGRAM  
SCIENCE OPERATOR

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

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

OCEAN DRILLING PROGRAM LEGACY CONSORTIUM FOR OCEAN LEADERSHIP

Program administration  
Scientific results  
Engineering & science operations  
Samples, data, & publications  
Outreach

1983 2003

OCEAN DRILLING PROGRAM LEGACY

FINAL TECHNICAL REPORT

Overview

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

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

For comments or questions: [webmaster@iodp.tamu.edu](mailto:webmaster@iodp.tamu.edu)

Copyright Consortium for Ocean Leadership

Funded by the National Science Foundation

JOIDES Resolution Drill Ship



# National Mining Hall of Fame & Museum

Haz click en la imagen



## Notas Geológicas

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.

### Registro sismológico de la explosión de un objeto no identificado en la atmósfera superior de Cuba Oriental el 19 de marzo del 2021

Manuel A. Iturralde-Vinent (1), Enrique Arango Arias (2)

1. Academia de Ciencias de Cuba, 2. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

#### Resumen

Las estaciones sismológicas cubanas tienen la capacidad de detectar la ocurrencia de detonaciones en la atmósfera superior como ha quedado establecido en el ejemplo de la explosión de una "bola de fuego" sobre la ciudad de Mayarí, en Cuba Oriental. Esta es la primera ocasión que un evento como este es registrado instrumentalmente en el país. Hasta el momento se desconoce la naturaleza del objeto, el cual pasó sobre la isla desde la costa sur de Guantánamo con rumbo NNW-SSE.

#### Introducción

En la noche del viernes 19 de marzo de 2021, a las 22:06 hora local (02:06 UCT) los sismómetros de siete estaciones sismológicas localizadas en Cuba oriental registraron una onda de relativa alta frecuencia y corta duración, que fueron percibidas como vibraciones de ventanas, cristales, techos y objetos en locaciones cercanas a Moa y Mayarí. Esto coincidió con dos explosiones o como un chasquido que pudieron percibirse sólo en una porción limitada de la región. Asimismo, observadores localizados en esa noche relativamente despejada en un amplio territorio avistaron en el cielo un fuerte destello de luz roja, blanca o amarilla, en tanto que unos pocos notaron una estela de humo descendente. A pesar de que se afirma haber presenciado la caída de objetos a tierra, hasta el momento no se ha reportado ni siquiera un fragmento. Sobre esta base, el evento se ha reconocido como un meteorito, una bola de fuego o un enjambre de meteoroides (CITMA Notas informativas 2 y 3; Iturralde-Vinent 2021), el cual se suma a la limitada

ocurrencia de eventos como estos en la región oriental, donde con anterioridad se habían reportado oficialmente sólo un meteorito y una bola de fuego acompañada de una lluvia de piedras (Ceballos-Izquierdo 2019), a pesar de que hay informaciones anecdóticas de muchos otros.

El evento que aquí se reporta constituye una novedad, pues aunque los sismómetros son capaces de detectar detonaciones en la tierra y la atmósfera, incluso el impacto de un meteorito contra el suelo, esta es la primera y única vez que estos instrumentos registran en Cuba una onda sonora generada en la atmósfera superior.



Fig. 1. Destello luminoso (verde=color falso) sobre Mayarí, al ESE de la Bahía de Nipe, obtenido por el sensor de relámpagos (GLM) del satélite GOES-East.

Casi desde el momento en que ocurrió este evento y en los días sucesivos se publicaron numerosos reportes en distintos medios de comunicación (Granma, Juventud Rebelde, Cubadebate, Fabebook), incluidos observadores individuales que aportaron una valiosa información, parte de la cual se ha aprovechado para confeccionar esta nota después que fuera verificada contra lo reportado por observadores confiables. Aquí se ofrecen las evidencias recogidas y su interpretación; especialmente el análisis de los registros instrumentales.

*El destello lumínico*

Las imágenes del satélite sensor de relámpagos (GLM) de la NOAA,GOES-East, captaron un intenso destello luminoso sobre la ciudad de Mayarí, en la provincia de Holguín (Fig. 1). Si sus dimensiones e intensidad se comparan con el destello provocado por la entrada a la atmósfera del Meteorito Viñales en febrero del año 2019 (Iturralde-Vinent et al. 2019), captado por el mismo sistema de satélites, se evidencia que el de Mayarí era mucho más pequeño, probablemente proporcional a las dimensiones menores de este último objeto.

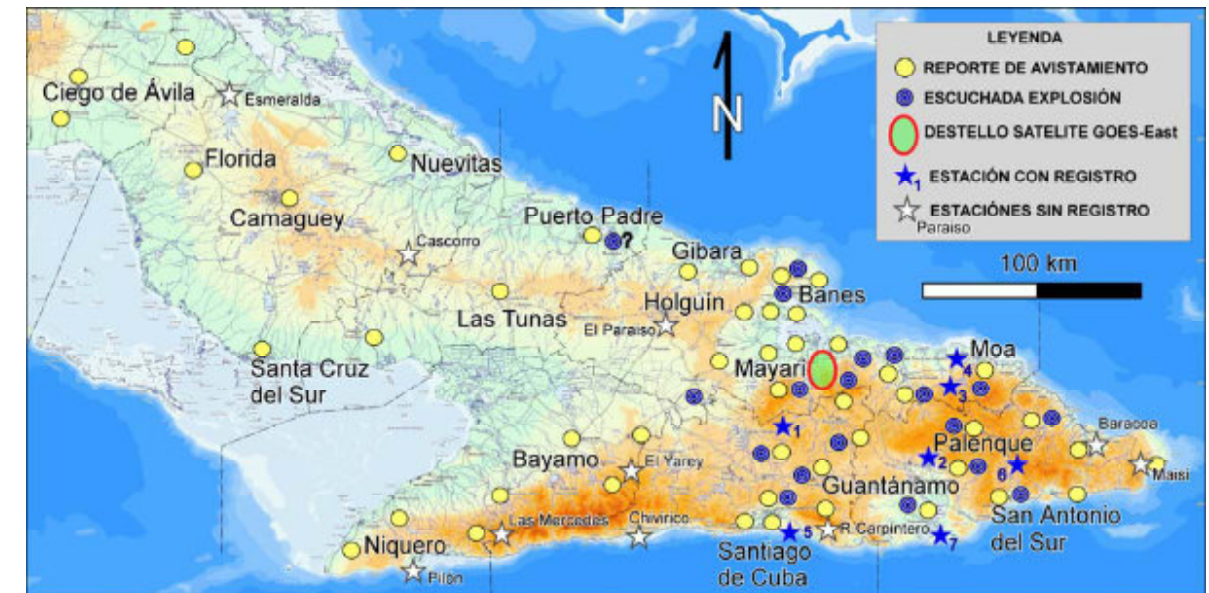


Fig. 2. Mapa de Cuba oriental donde se muestran las evidencias recopiladas de numerosas fuentes.

El destello de la explosión del 19 de marzo se observó en la mitad centro-oriental de Cuba, desde la ciudad de Ciego de Ávila, hasta cerca de Punta Maisí, de acuerdo a los reportes obtenidos (Figura 2). Cada círculo amarillo en este mapa representa uno o más observadores localizados en el entorno de dicho símbolo, abarcando un inmenso territorio. Es especialmente notable que el destello se haya observado al sur de las montañas de la Sierra Maestra, la sierra del Purial y las alturas de Mayarí a Baracoa, que alcanzan de 1 000 a 2 000 m de altura, lo cual confirma que se trata de un evento ocurrido en la atmósfera superior, probablemente a una o dos decenas de miles de metros de altura, pero no hay un cálculo de la altitud.



*Naturaleza del objeto*

Algunos observadores aislados afirman haber observado la estela de humo en el cielo dejada por el cuerpo a su paso sobre Cuba, e incluso dicen haber visto caer fragmentos sobre la región cercana a Mayarí, pero hasta ahora no hay confirmación ni evidencia segura. Como es conocido, alrededor de nuestro planeta circulan infinidad de objetos considerados "basura tecnológica", los cuales penetran a la atmósfera, al igual que objetos propiamente extraterrestres. Debido que al pasar por la atmósfera muchos se incendian y a veces se subliman antes de alcanzar la superficie terrestre, en muchos casos no es posible determinar la naturaleza del objeto, como parece ser este caso de Cuba oriental, que estuvo acompañado por otras dos bolas de fuego, reportadas tanto sobre la isla de Jamaica al sur de Cuba; como en Naples, península de la Florida (Tabla 1).

Tabla 1. Reportes de Bolas de fuego reportadas en la base internacional de bolas de fuego y meteoritos con el número 1755-2021 (NOAA GOES-East Viewer).

Fecha y hora UT	Fecha y hora local	Locación	Duración	Magnitud	Observador	Explosiones.
2021-03-20 01:45 UT	2021-03-19 20:45 EST	Kingston St. Andrew Parish	≈7.5s	0	Niki M	2
2021-03-20 02:10 UT	2021-03-19 21:10 EST	Kingston St. Andrew Parish	≈1.5s	-15	Chloe W	2
2021-03-20 02:12 UT	2021-03-19 22:12 CDT	Guantánamo	?	0	Thomas David K	2
2021-03-20 02:12 UT	2021-03-19 22:12 CDT	Guantánamo	?	0	Thomas David K	2
2021-03-20 02:15 UT	2021-03-19 22:15 CDT	Guantánamo	≈1.5s	-22	Sophia A	1
2021-03-20 02:33 UT	2021-03-19 22:33 EDT	Naples FL	≈1.5s	-7	Corey M	2

Sin otras evidencias, no es posible definir con seguridad la naturaleza antrópica o cósmica del objeto; pues aquellos de pequeño tamaño como parece ser este caso, son difíciles de identificar basado solamente en su luminosidad y trayectoria.

*Trayectoria del objeto*

Con respecto a la trayectoria hay varias fuentes de información. En primer lugar algunos observadores aislados reportan haber visto el objeto viajar en general al norte, pero es imposible determinar si esta es una trayectoria real o aparente. Información adicional se obtiene de la imagen animada de la explosión ([http://media.cubadebate.cu/wp-content/uploads/2021/03/20200319\\_cubameteor.gif](http://media.cubadebate.cu/wp-content/uploads/2021/03/20200319_cubameteor.gif)), la cual muestra una pequeña cola apuntando aproximadamente al sur, quizás reflejo de la traza dejada por el objeto justo antes de explotar. Esta interpretación es concordante con el hecho de que la mayoría de los observadores que escucharon un chasquido o dos detonaciones estaban localizados desde los alrededores de Guantánamo a unos 5-10 km de la costa sur y dispersos hacia el norte hasta el entorno de Banes (Fig. 3). Sólo un individuo reporta una explosión en Puerto Padre, la cual por su localización apartada del resto se considera dudosa.

Asimismo, si se superponen las áreas donde se escucharon las detonaciones y se registraron las ondas sonoras en los instrumentos (Fig. 3), es posible asumir que la trayectoria fue de SSE a NNW desde la costa sur de Guantánamo hasta el cielo de Mayarí donde explotó en la atmósfera superior. Una hipótesis semejante fue formulada por el CITMA (Nota informativa no. 2 y no. 3).

Para encontrar el punto de caída de presuntos fragmentos de este objeto, si realmente tocaron el suelo, lo más conveniente es realizar las búsquedas a partir del lugar del impacto con la atmósfera, siguiendo el rumbo de la trayectoria, ya que se conoce que después de la explosión los fragmentos caen atraídos por la gravedad con una componente balística reducida. En consecuencia, si la trayectoria fue de SSE a NNW, entonces es muy probable que los eventuales "fragmentos" hayan aterrizado o amarizado cerca de la costa norte (Fig. 3).

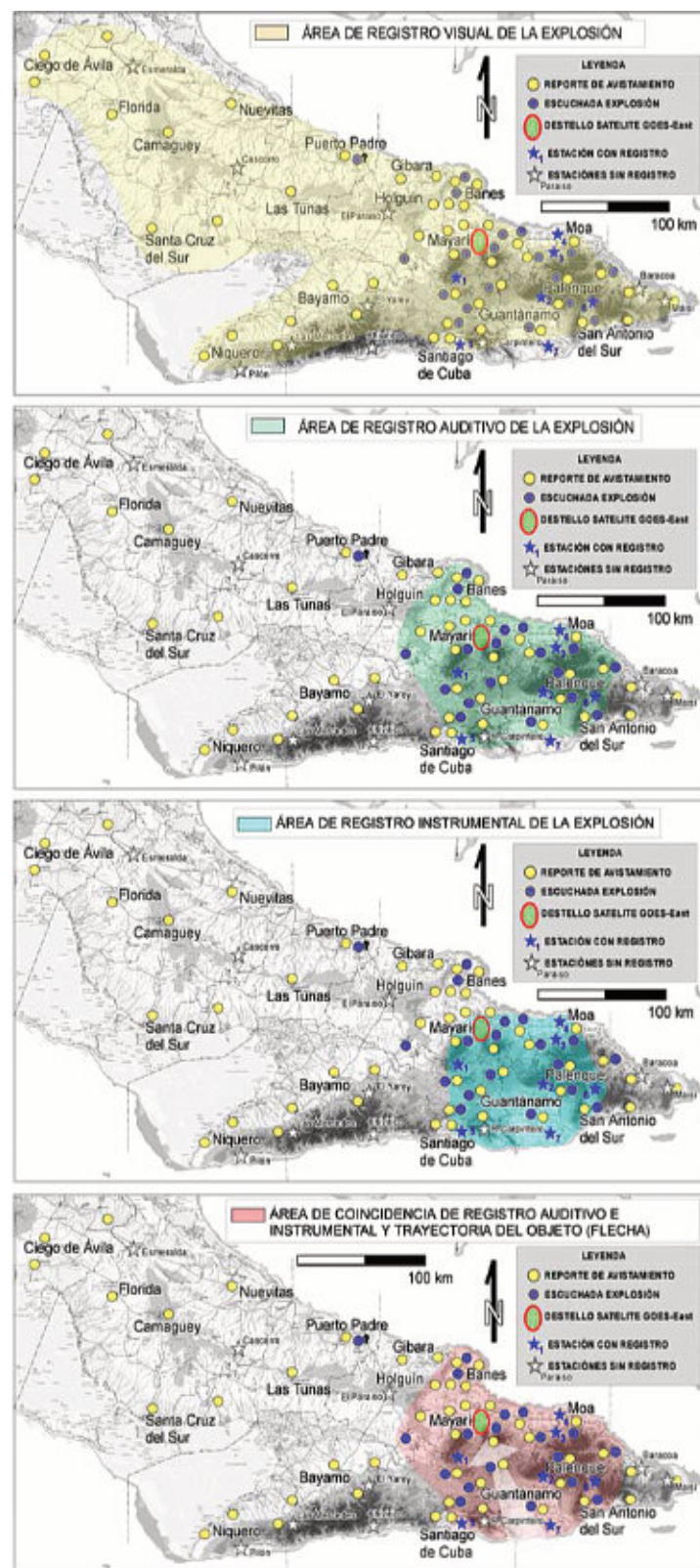


Fig. 3. Mapas de Cuba oriental indicando las áreas de registro visual, auditivo, instrumental y de la trayectoria del objeto.

Registro instrumental de las explosiones

En los últimos años el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas ha modernizado las estaciones sismológicas y se ha incrementado la densidad de la red de observación, sobre todo en la región oriental del país donde existe mayor peligro sísmico. Gracias a ello fue posible obtener el registro instrumental de la explosión atmosférica mediante varios sismómetros (Fig. 4).

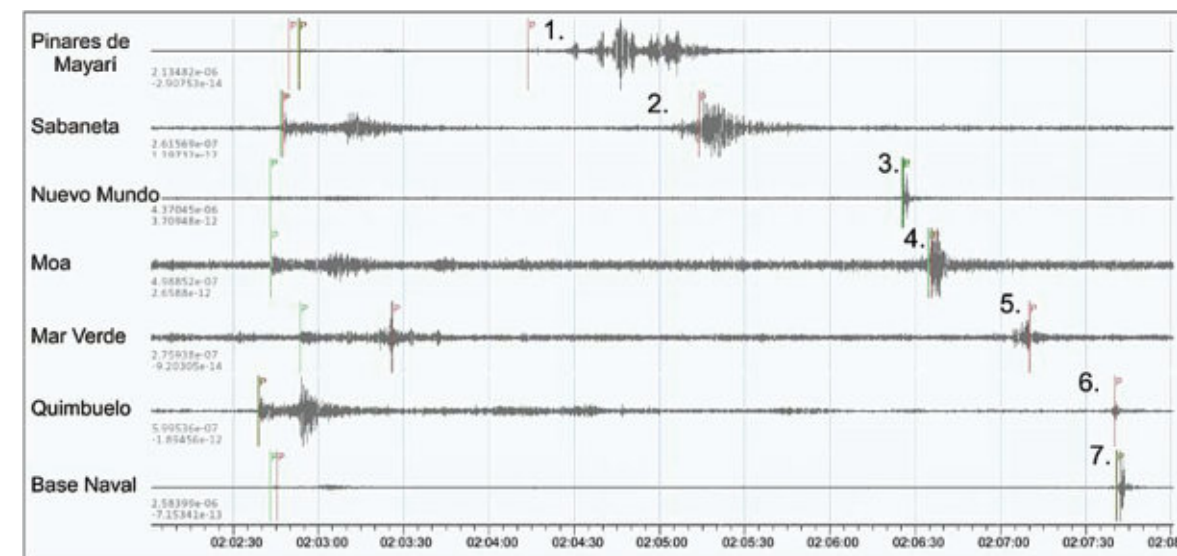


Fig. 4. Registro de los sismómetros de las estaciones de la red de Cuba Oriental el día 19 de marzo de 2021, donde se detecta tanto un sismo de poca magnitud (02:02:30 a 02:04:00 horas) como la onda sonora, numerados del 1 al 7. Localización de las estaciones en la Figura 2.

El mismo día 19 de marzo a las 02:02:17 UCT las estaciones cubanas registraron un sismo de magnitud 1.7 con su foco situado a  $\approx 69$  km al oeste de Port-de-Paix (Haití), a unos  $\approx 90$  km de la Punta de Maisí (Fig. 4). Las detonaciones atmosféricas que fueron descritas por los testigos como dos explosiones y/o un chasquido, se registraron en siete equipos durante 3.35 minutos, desde 02:04:15 hasta 02:07:50 UCT (Tabla 2) (Fig. 3).

En el caso del sismo fueron registradas las ondas P y S, que permitieron calcular su magnitud, profundidad y coordenadas del foco. En contraste, la onda sonora se registró como un ruido, del cual no fue posible calcular distancia al punto de origen ni su energía. Asimismo, sólo las dos estaciones más cercanas al punto de origen de la onda la detectaron durante más de un minuto, en tanto que las estaciones más alejadas apenas



registraron unos pocos segundos (Tabla 2). Otro detalle de la onda sonora registrada es que se puede descomponer en más de ocho pulsos en la estación más cercana, pero en las restantes más alejadas se atenúan en los registros y se confunden con el ruido de fondo (Fig. 4).

Aunque no se observa mucha diferencia entre la amplitud de onda de ambas señales, e incluso la señal del sismo es de menor amplitud que la señal de la explosión, es interesante el hecho de que este sismo no fue reportado por ninguna persona debido a su baja magnitud, en tanto que el ruido atmosférico fue escuchado en un área muy extensa (Fig. 3).

Tabla 2. Estaciones sismológicas donde se registró la onda sonora de la detonación atmosférica del 19 de marzo del 2021 en Cuba oriental. Tiempo UCT.

ORDEN DE LLEGADA	ESTACIÓN	INICIO DEL REGISTRO	MÁXIMO DEL REGISTRO	FIN DEL REGISTRO	DURACIÓN SEGUNDOS
1	Pinares	02:04:15	02:04:46	02:05:50	135
2	Sabaneta	02:04:40	02:05:20	02:06:00	120
3	Nuevo Mundo	02:06:25	02:06:27	02:06:32	7
4	Moa	02:06:35	02:06:36	02:06:42	7
5	Mar Verde	02:07:04	02:07:10	02:07:32	18
6	Quimbuelo	02:07:35	02:07:40	02:07:48	13
7	Base Naval de la Marina de los Estados Unidos de América	02:07:37	02:07:42	02:07:50	13

En esencia se puede asumir que las dos detonaciones principales se hayan originado en el punto de entrada del objeto en la atmósfera, sobre la ciudad de Mayarí, tomando en cuenta la señal satelital. El chasquido puede ser resultado de la fricción con el aire cuando el objeto se aproximaba al sitio de explosión, lo cual probablemente no fue captado por los sismómetros. Esta hipótesis se confirma por la secuencia en tiempo en el registro



instrumental, que comienza en un punto cercano a Mayarí (Estación Pinares de Mayarí) y aparece más atenuado en las estaciones cada vez más alejadas, hasta la Base Naval de Guantánamo, situada a unos  $\approx 100$  km de distancia (Figs. 3 y 4).

Lo más llamativo de este suceso es que varias estaciones localizadas en la misma área y distancia semejante de la fuente de la onda sonora (Mayarí) no detectaron este ruido. Entre ellas se encuentran El Paraíso ( $\approx 65$  km) y El Yarey ( $\approx 100$  km) situadas al W y SW, o Río Carpintero ( $\approx 71$  km) y Baracoa ( $\approx 122$  km) al E y SE (Fig. 2). Esto puede estar relacionado con la localización específica de cada estación y el nivel de protección del sismómetro contra las ondas sonoras. En el futuro se analizarán las estaciones "sordas" para tratar de comprender mejor la causa de la falta de registro instrumental del evento.

**Referencias**

Ceballos Izquierdo, Y. 2019. Recuento de los meteoritos reportados en Cuba y bibliografía sobre el tema. Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba. Vol. 18, No. 1. Especial dedicado al Meteorito Viñales. <<http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/issue/view/23/showToc>>

Catálogo Internacional de Bolas de Fuego y Meteoritos. Bola de Fuego de Cuba Oriental, Marzo 2021. <[https://fireball.amsmeteors.org/members/imo\\_view/event/2021/1755](https://fireball.amsmeteors.org/members/imo_view/event/2021/1755)>

NOAA GOES-East Viewer. March 19, 2021. <<https://www.star.nesdis.noaa.gov/GOES/sector.php?sat=G16&sector=car>>

CITMA, 2021a. Nota informativa no. 2 sobre la explosión ocurrida en la alta atmósfera terrestre en la provincia de Holguín. <<https://www.citma.gob.cu/nota-informativa-2-sobre-explosion-ocurrida-en-la-alta-atmosfera-terrestre-en-la-provincia-de-holguin/>>

CITMA, 2021b. Nota informativa no. 3 sobre fuerte explosión ocurrida en la alta atmósfera, la noche del 19 de marzo en la región oriental. <<https://www.citma.gob.cu/nota-informativa-3-sobre-fuerte-explosion-ocurrida-en-la-alta-atmosfera-la-noche-del-19-de-marzo-en-la-region-oriental/>>



Iturralde-Vinent, M. 2021. Bola de fuego en Cuba oriental: Nuevas evidencias del peligro de caída de cuerpos celestes. <<http://www.cubadebate.cu/especiales/2021/03/21/bola-de-fuego-en-cuba-oriental-nuevas-evidencias-del-peligro-de-caida-de-cuerpos-celestes/comentarios/pagina-2/>>

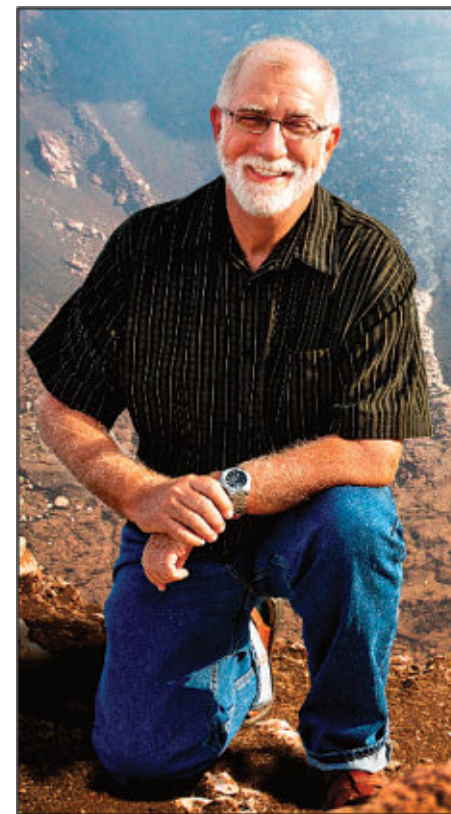
Iturralde-Vinent, M., Llanes Castro, A.I., Santa Cruz Pacheco, M., Toledo Sánchez, C.A., Cabrera Díaz, I. 2019. Estudio espectroscópico, composicional y mineralógico de un fragmento del meteorito Viñales, caído en Los Jazmines, Cuba occidental Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba. Vol. 18, No. 1. Especial dedicado al Meteorito Viñales. <<http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/issue/view/23/showToc>>

**Dr. Manuel Antonio Iturralde Vinent**

Cienfuegos, Cuba 10 de julio de 1946. Vive en La Habana, Cuba.

Académico de Mérito de la Academia de Ciencias de Cuba, ha recibido numerosos galardones por sus contribuciones a las ciencias de la Tierra, a la promoción del conocimiento y a la reducción del riesgo de desastres. Ha dirigido varios proyectos científicos internacionales patrocinados por la UNESCO, la IUGS, la NGS y otras organizaciones; y organizado convenciones, congresos y otros eventos científicos. Es autor y editor de cientos de publicaciones, documentales, spots, multimedia, apk y juegos digitales ([redciencia.cu/geobiblio/inicio.html](http://redciencia.cu/geobiblio/inicio.html)). Ha participado como ponente y conferencista invitado en numerosos eventos en todo el mundo. Es árbitro internacional de proyectos y para diversas revistas. Actualmente ofrece servicios de asesoría.

Sus contribuciones científicas abarcan el origen y evolución de Cuba en un marco caribeño, una teoría sobre el origen de las biotas antillanas, el fechado del ámbar dominicano, descubrimiento de numerosas especies nuevas y caracterización de distintas biotas fósiles caribeñas, así como distintas obras sobre la naturaleza antillana, desastres naturales y su prevención.



[www.redciencia.cu/geobiblio/inicio.html](http://www.redciencia.cu/geobiblio/inicio.html)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Manuel\\_Iturralde-Vinent](https://en.wikipedia.org/wiki/Manuel_Iturralde-Vinent)

<https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Iturralde-Vinent/2>

<https://orcid.org/0000-0002-4960-8848>

[www.facebook.com/iturraldevinent](http://www.facebook.com/iturraldevinent)

**The Ramp to Shelf Transition – Its significance to the Mesozoic of the Gulf of Mexico**

Carl Steffensen

Viking GeoSolutions LLC  
Houston, TX, USA

The “carbonate ramp” was officially defined by Ahr in 1973. The purpose was to differentiate the “shelf model” with its typical flat platform and clearly defined shelf-slope break along which occur reefs or banks, from those less common bathymetric profiles which exhibit consistent sloping into the basin and updip deposition of grainstones. Both physiographic profiles can be found in the Mesozoic intervals of the Gulf of Mexico, typically differentiated not only by geometry but also by age. The implied relative facies distributions have great significance in understanding the resultant distribution of reservoirs and diagenetic trends (Figure 1).

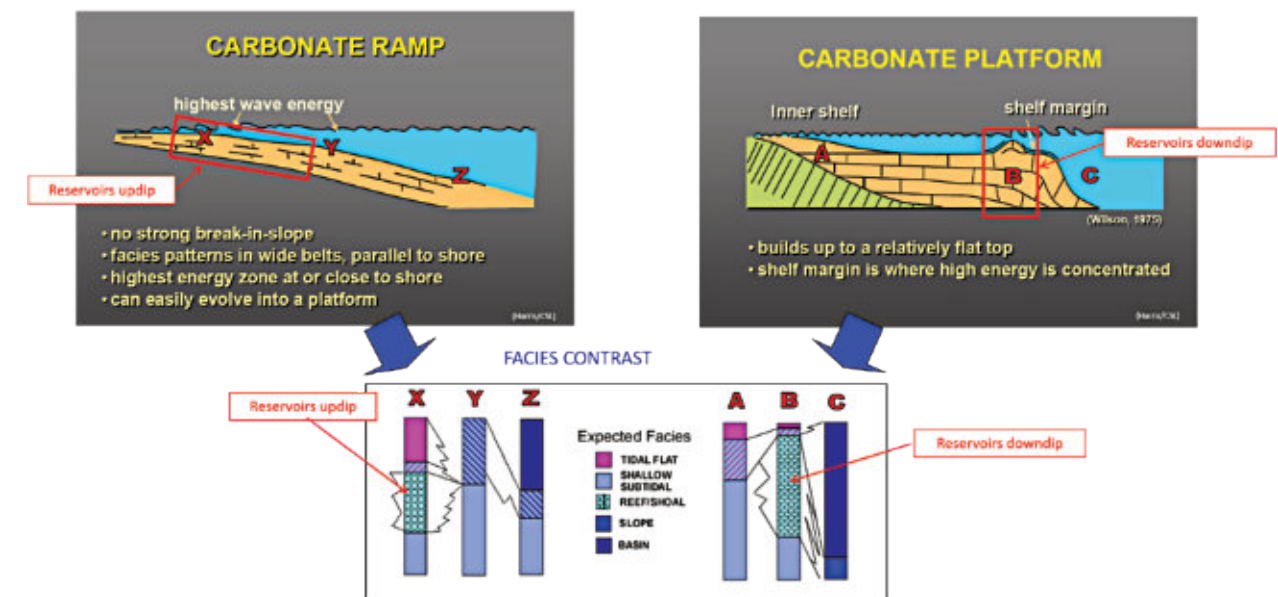


Figure 1 – Facies distributions of carbonate ramps vs. shelves. (modified from University of Miami Comparative Sedimentology Lab. presentations).

There are several features that can be used to differentiate carbonate ramp physiography from that of a carbonate shelf (Table 1). Depositional facies trends on a carbonate ramp occur in sub-parallel belts that follow bathymetric contours, with low-energy mud-rich sediments occurring in downdip subtidal environments and grainy high-energy facies developing updip near the shoreline. The facies on a carbonate shelf are also controlled by bathymetry but react to bathymetric changes that reflect the presence of reefs and other constructional features and thus may not occur in sub-parallel belts; thus, high-energy grainstones and boundstones typically occur downdip along the shelf margin, while lower-energy mud-rich carbonates occur updip in lagoonal or tidal flat environments.





FEATURE	RAMP	SHELF
General Facies Distribution	Occur in sub-parallel facies belts that follow bathymetric contours	Controlled by bathymetry, grainstones & boundstones along margin rim, muddier carbonates in low-energy back-barrier areas (not necessarily in parallel belts)
Position of Mud-Rich Carbonates	Mud-rich sediments in tidal flats and subtidal environments downdip (grainstones UPDIP near shore)	Occur updip in lagoon and tidal flat, and downdip in basin (separated by grainstone/boundstone rim at shelf margin)
Thickness of sedimentary units	Gradual thickening of carbonate wedge downdip	Thickest at shelf margin, thinning both updip and downdip
Distribution of reefs/shoals	Buildups generally locally restricted discontinuous grainstone shoals and patch reefs; larger patch/pinnacle reefs can occur downdip at optimum water depths	Buildups tend to occur continuous trends at the shelf margin

Table 1 – A comparison of the key features distinguishing carbonate ramps from shelves.

In a ramp setting the sediments tend to thicken gradually in a downdip direction, while on a shelf the thickest accumulations of carbonate sediments is at the shelf margin, with sedimentary units thinning both updip and downdip from the margin. Finally, the distribution of buildups on a ramp is generally restricted and comprised of discontinuous grainstone shoals and patch reefs (pinnacle reefs can occur downdip if water depths allow); on the shelf, the buildups tend to develop continuous trends along the shelf margin.

Read 1985 provided an excellent summary of variations in both the ramp and shelf profiles (Figure 2).

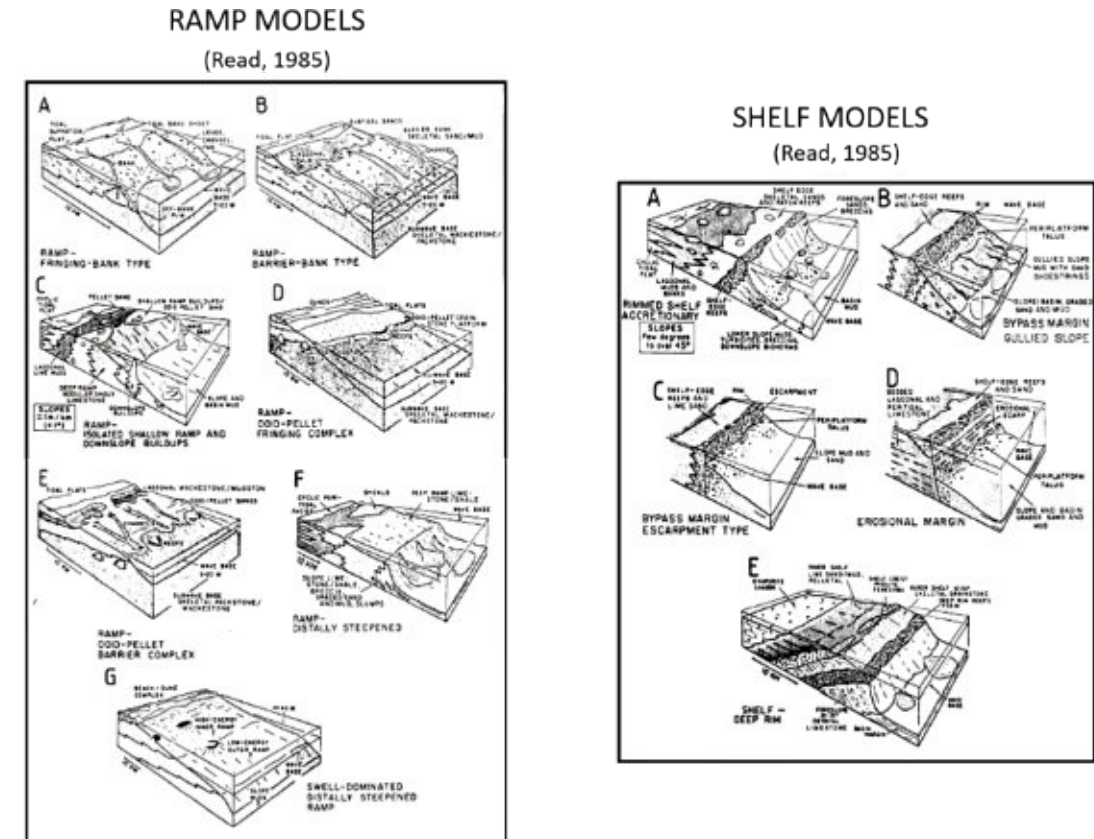


Figure 2 – Variations in Ramp and Shelf physiographies (Read, 1985)

**Ramp to Shelf Evolution**

Ramps may start with updip shallow-water shoals and evolve through time into rimmed shelves, either through depositional means (related to changing sea level) or via tectonic or salt enhancement of bathymetric variability, or some combination thereof (Figure 3).

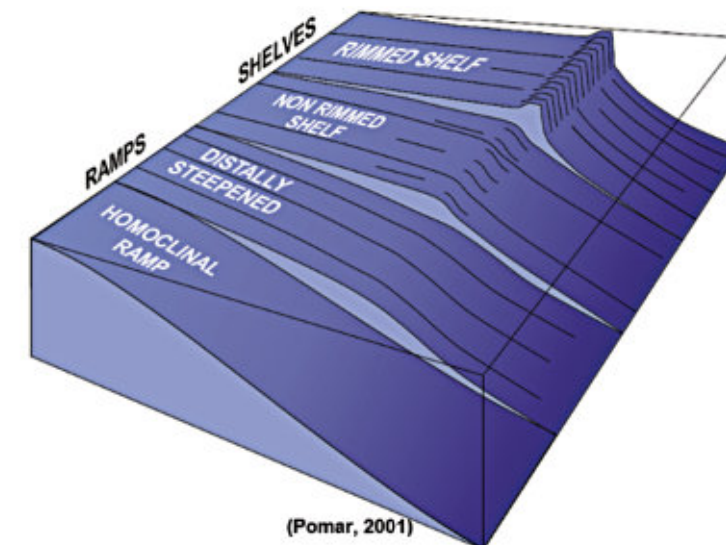


Figure 3 – Ramp to Shelf evolution (Pomar, 2001)



Ramps can be difficult to distinguish seismically without the aid of facies data from wells due to post-depositional compaction, salt inflation, or tectonic modification (Figure 4).

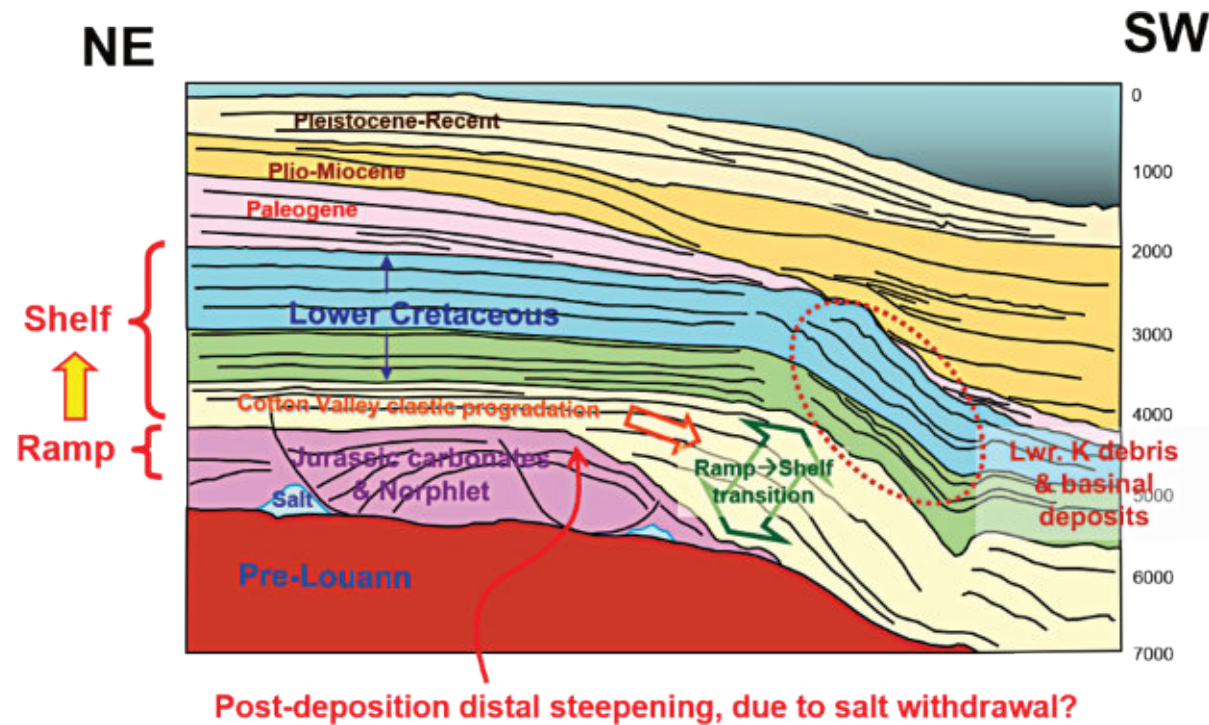


Figure 4 – Line drawing taken from seismic across the modern margin in the eastern Gulf of Mexico.

**Mesozoic Chrono-stratigraphy in the Gulf of Mexico**

As a practical example, one need to look no further than the Gulf of Mexico. Many studies have documented the transition of platform physiography during the Mesozoic in the Gulf of Mexico in both the US and Mexican sides of the Gulf and Gulf Coast. In South Texas, Goldhammer and Johnson (2002) documented the ramp to shelf transition very clearly (Figure 5).

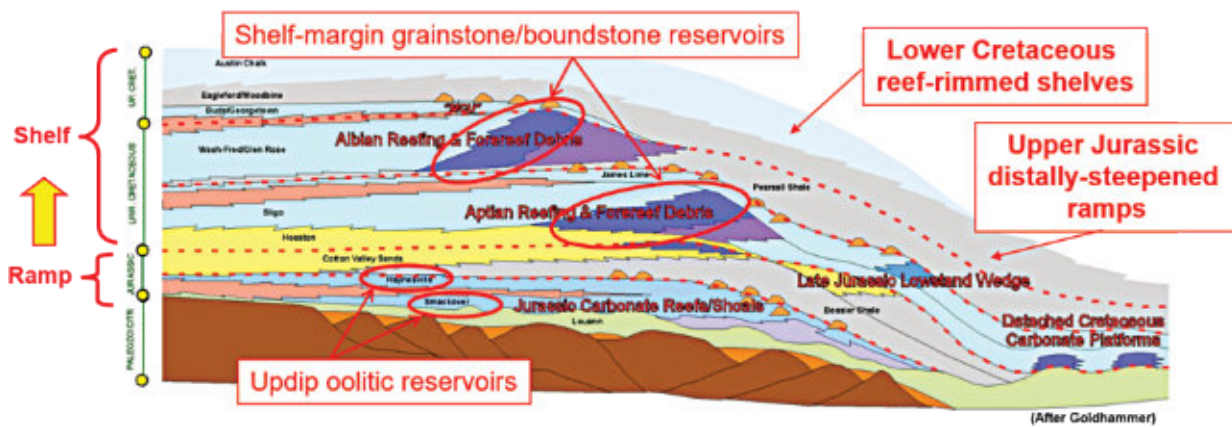


Figure 5 – Mesozoic chrono-stratigraphy in the northern Gulf Coast (after Goldhammer & Johnson, 2002)

In examining the facies distributions of Jurassic and Cretaceous carbonate system around the Gulf of Mexico, the transition from a ramp physiography during the Upper Jurassic to a shelf physiography during the Cretaceous is evident. During the Jurassic, the Gulf of Mexico is rimmed by a nearly continuous belt of carbonate grainstone shoals present in an updip position, with finer-grained facies occurring downdip with increasing water depth. During the Cretaceous however, we can see the development of a continuous shelf margin reef system in the northern Gulf, while reef-rimmed isolated platforms dominate the physiography in Mexico; there is an abrupt increase in water depth outboard of the platform margin as the profile drops to bathyal depths in the center of the basin (Figures 6 & 7).

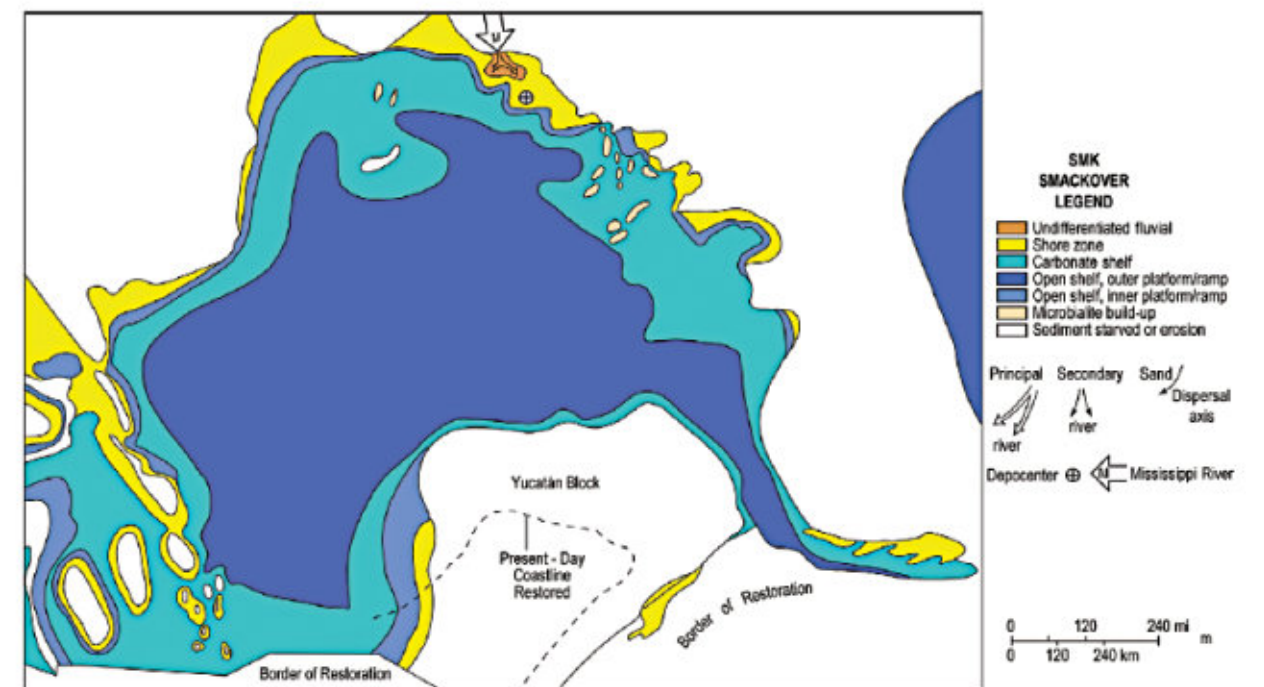


Figure 6 – Gulf of Mexico Upper Jurassic (Smackover) facies map (Snedden & Galloway, 2019).

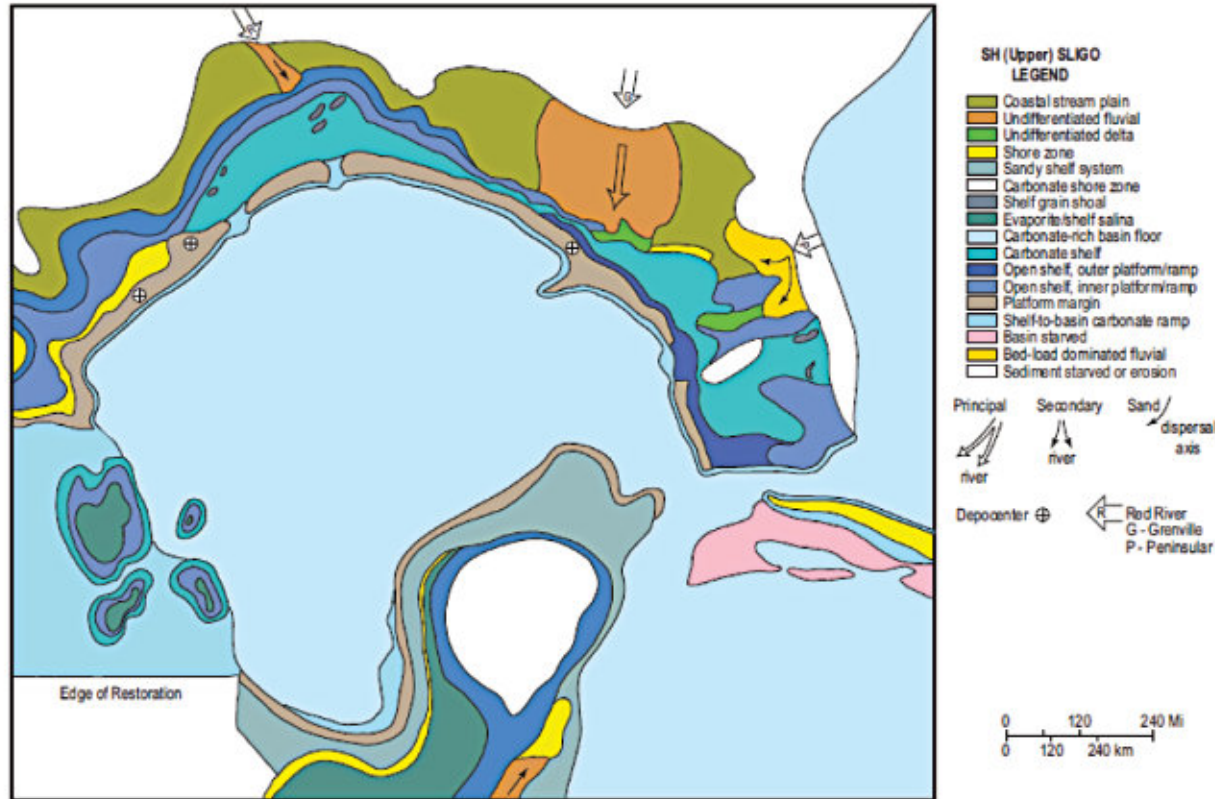


Figure 7 – Gulf of Mexico Lower Cretaceous (Sligo) facies map (Snedden & Galloway, 2019).

**Diagenetic Overprint**

Prediction of reservoir facies can be complex in carbonates, largely due to their susceptibility to diagenesis. Since diagenesis is often facies controlled, understanding facies distribution can in some cases be used as a proxy for reservoir quality – the amounts of primary porosity (grain-dependent) and secondary porosity (diagenetic alteration) are related to the physiographic and climatologic conditions under which the carbonates were formed.

Carbonates are highly reactive chemically, particularly to meteoric freshwater (figure to right), but also to other diagenetic fluids that may be acidic or supersaturated (e.g., Mg–dolomitization). Geometry of the margin profile can greatly affect the areal extent of these phreatic diagenetic zones (Figure 8).

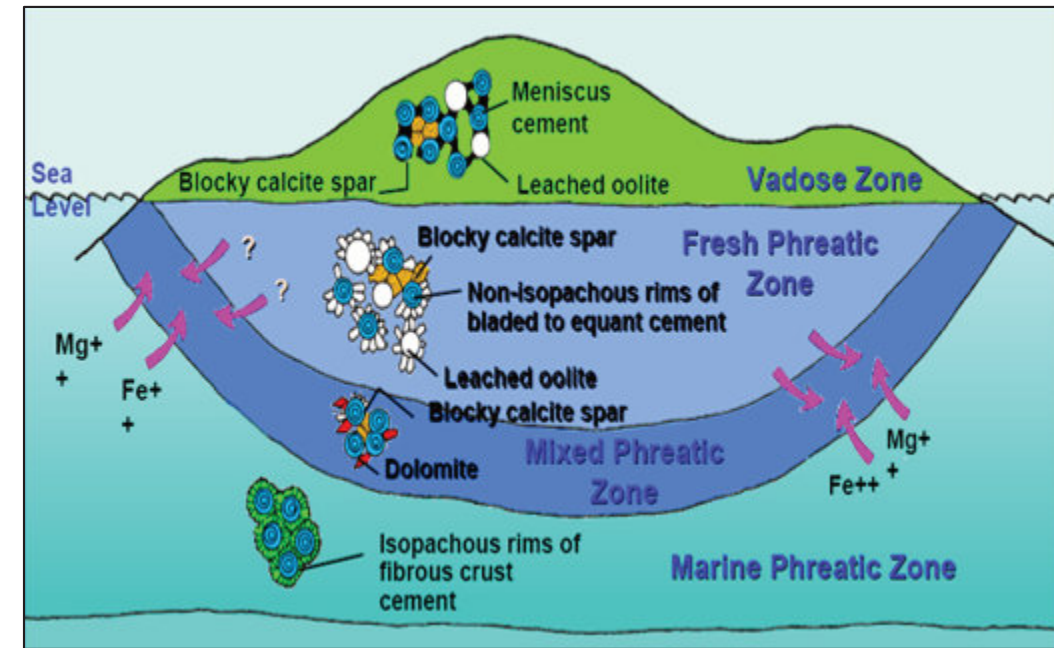


Figure 8 – Carbonate diagenetic zones (source unknown).

**Examples of the Ramp model**

As noted above, a classic example of an ancient ramp physiography is the Upper Jurassic of the Gulf Coast in the US and Mexico (Oxfordian Smackover and Kimmeridgian Cotton Valley Lime sequences, Figure 9). Many more examples are described by Burchette & Wright (1992) in their summary of carbonate ramp depositional systems through geologic time.

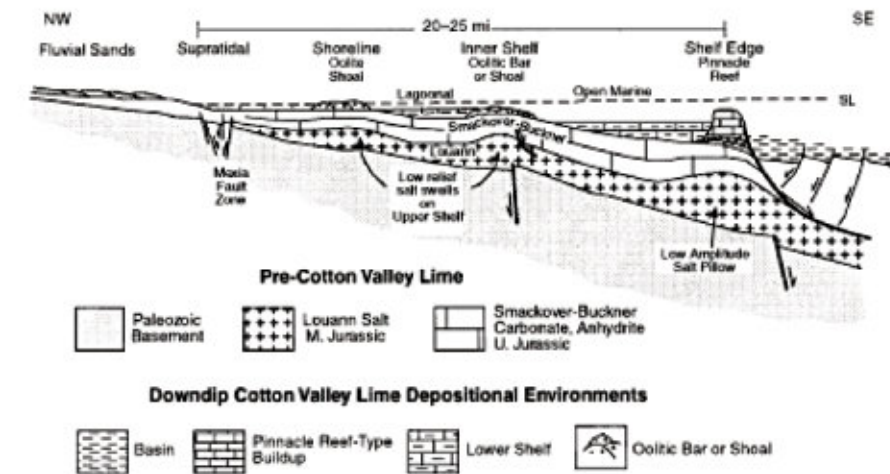


Figure 9 – Cotton Valley Lime ramp profile (Montgomery, 1997)

Several modern examples have been studied and are very well documented, including the Abu Dhabi coast in the Persian Gulf (Figure 10), the northwest shelf of Australia, Figure 11), and the Yucatan Platform of Mexico (Figure 12).

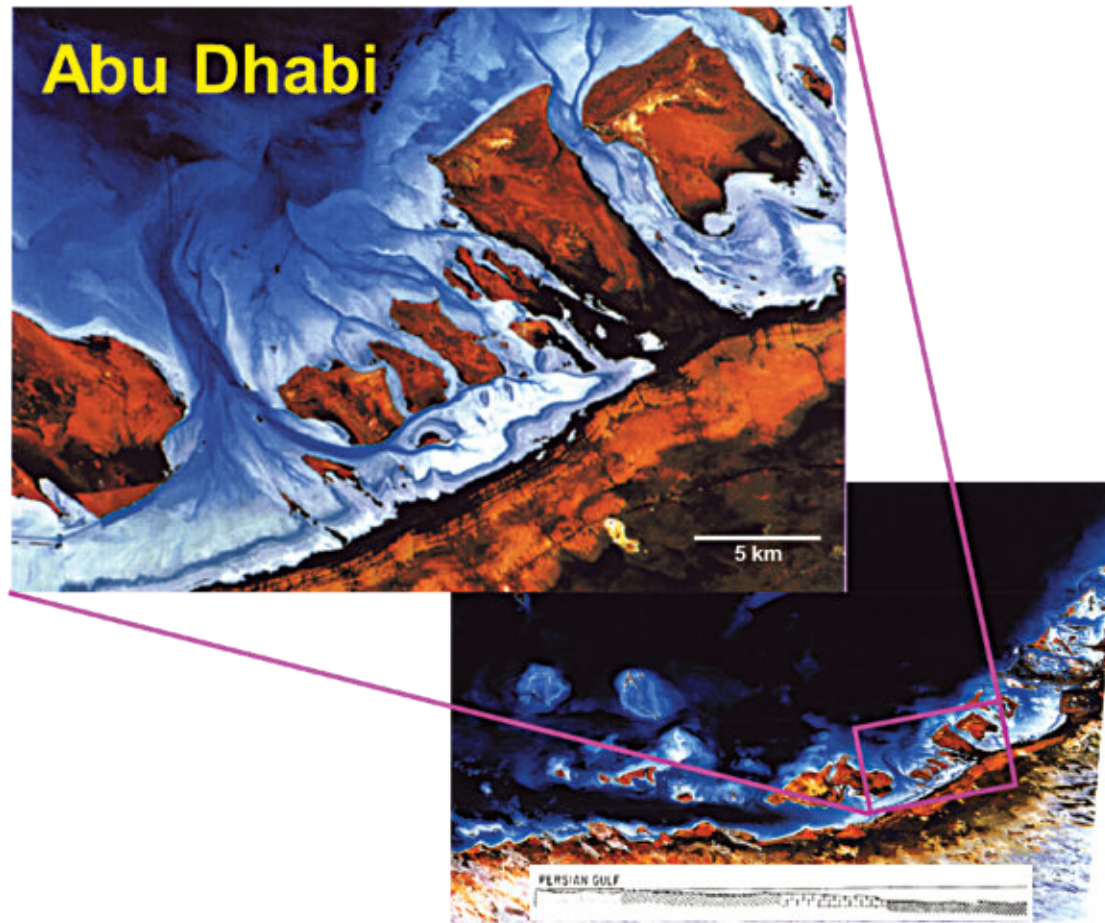


Figure 10 – Satellite images of the Abu Dhabi coast (Harris & Kowalik, 1994)

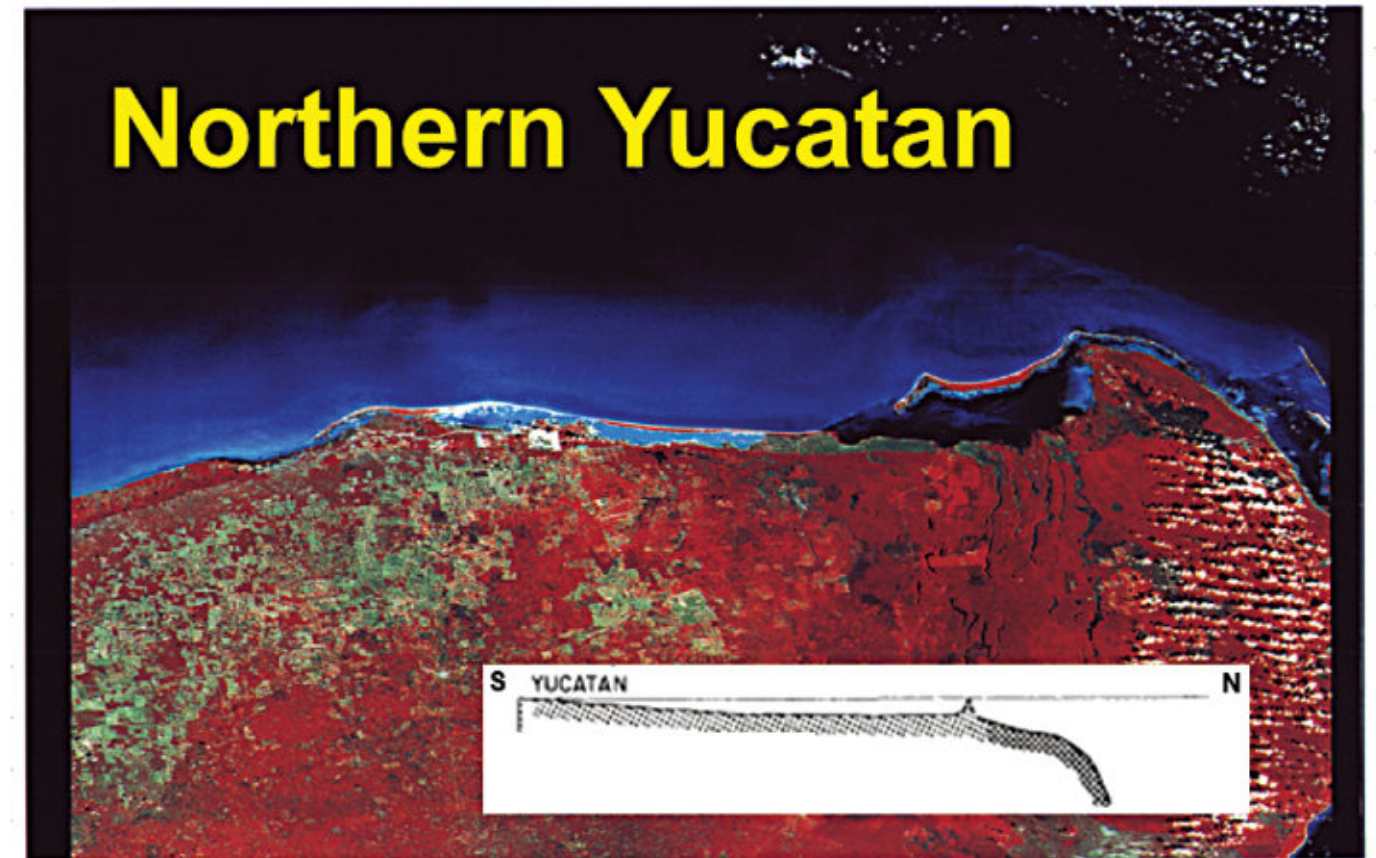


Figure 12 – Yucatan Platform profile (Harris & Kowalik, 1994)

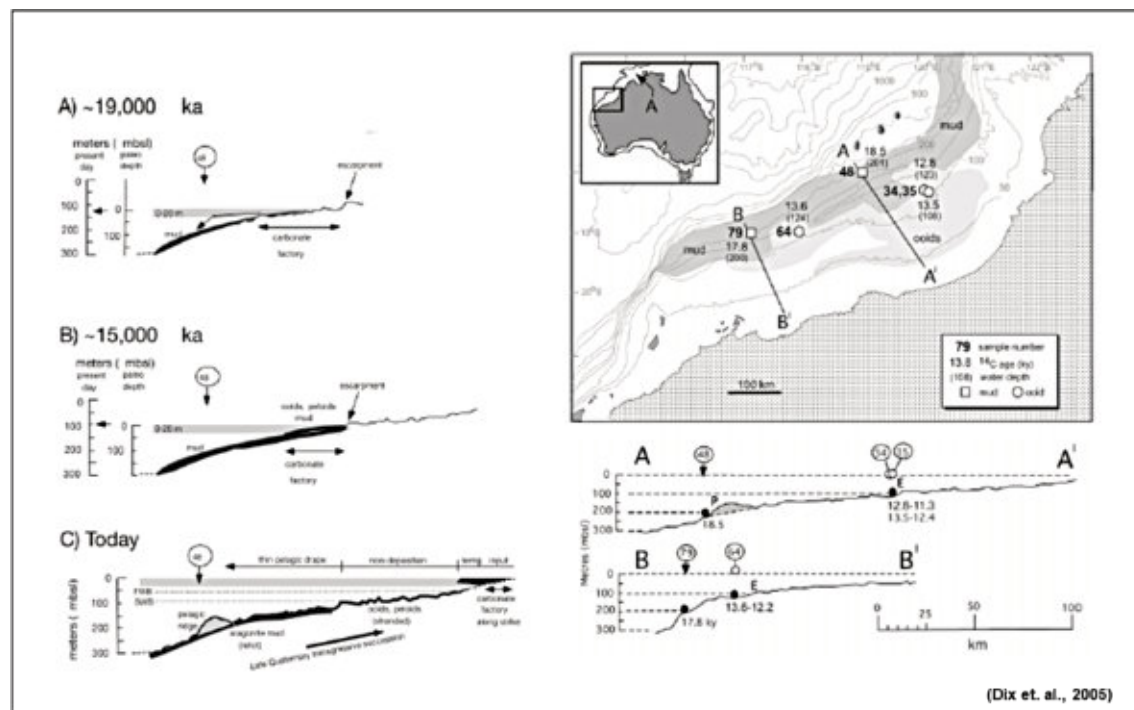


Figure 11 – Variation in ramp profile along the northwest shelf of Australia (Dix et. al., 2006)

**Examples of the Shelf Model**

Modern shelf models include the South Florida/Florida Keys region (Figure 13) and the Bahamas Platform (Figure 14), both heavily studied areas that serve as modern analogs for the ancient record. The Cretaceous shelf margins of South Texas (Sligo and Edwards/Stuart City reef trends, Figure 15) are well-documented examples of ancient rimmed shelf systems, as is the Permian Capitan Reef systems in the Guadalupe Mountains of West Texas (Figure 16).

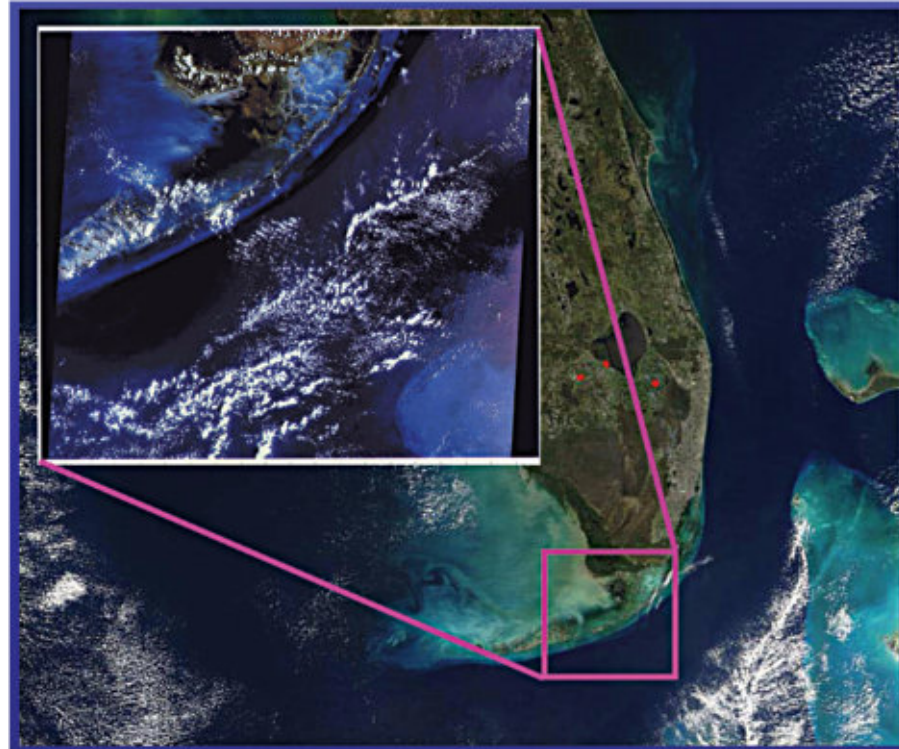


Figure 13 – Satellite images of the South Florida/Florida Keys rimmed shelf (Harris & Kowalik, 1994).

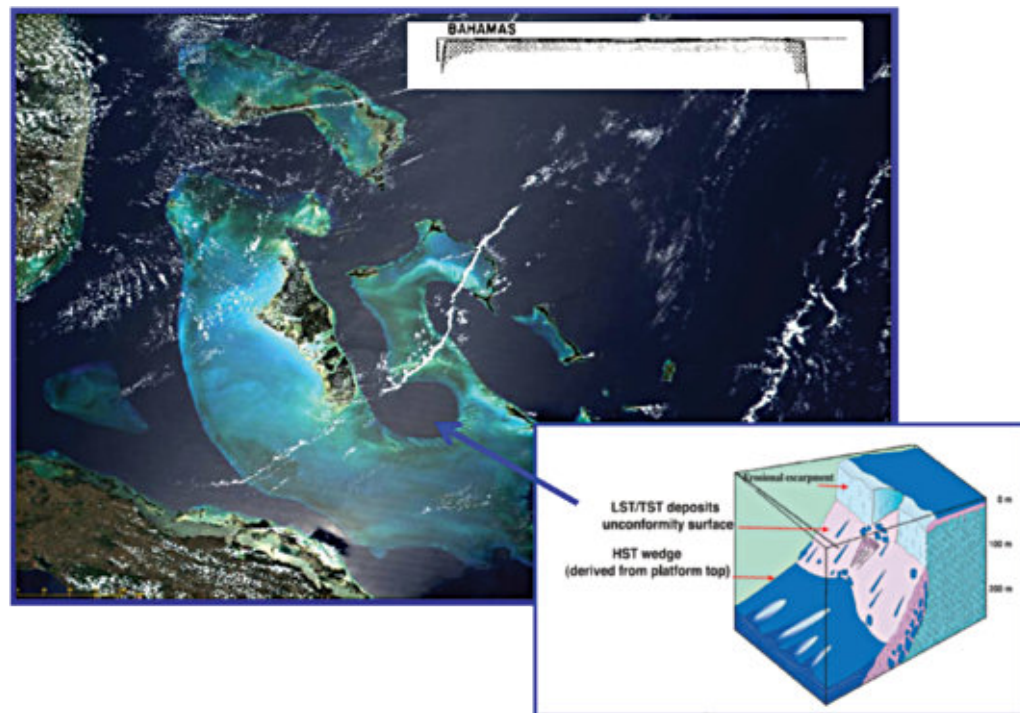


Figure 14 – Satellite image of the Bahamas Platform with inset describing the morphology of the Tongue of the Ocean (Grammar, Harris, & Eberli, 2004).

TRANSGRESSIVE SYSTEMS TRACT

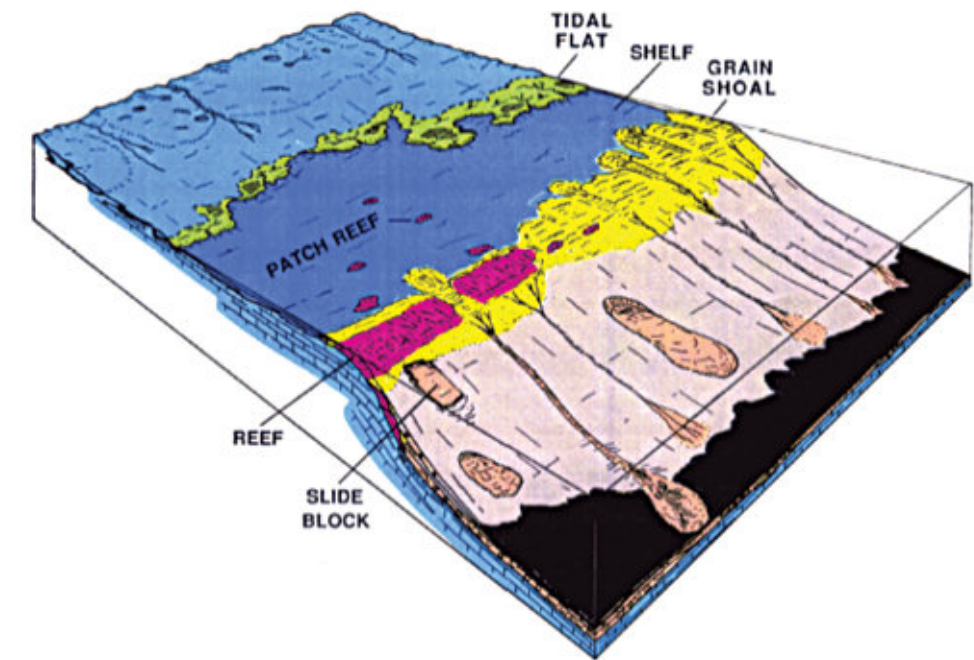


Figure 15 – Block diagram describing platform morphology and facies distribution of the Cretaceous margin of South Texas (Handford & Loucks, 1993).

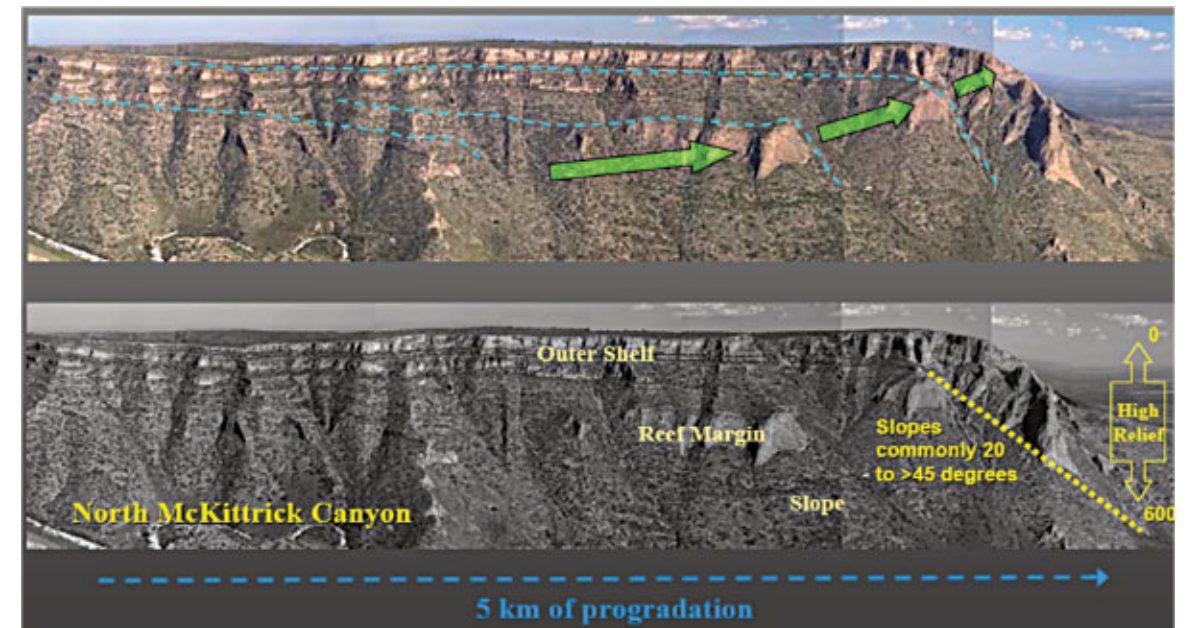


Figure 16 – Permian Capitan Reef panorama showing platform facies and margin progradation (modified from University of Miami Comparative Sedimentology Lab. presentations).

Of course, even a well-developed rimmed shelf can have intermittent periods of ramp-like development as illustrated by Phelps et. Al. (2014) in their analysis of Cretaceous platform evolution in the northern Gulf of Mexico (Figure 17). Such variability is often the result of changes (cyclic?) in a number of inter-

related environmental factors, including relative sedimentation rate, changes in sea level (accommodation space), tectonic forces (subsidence and uplift), and climate.

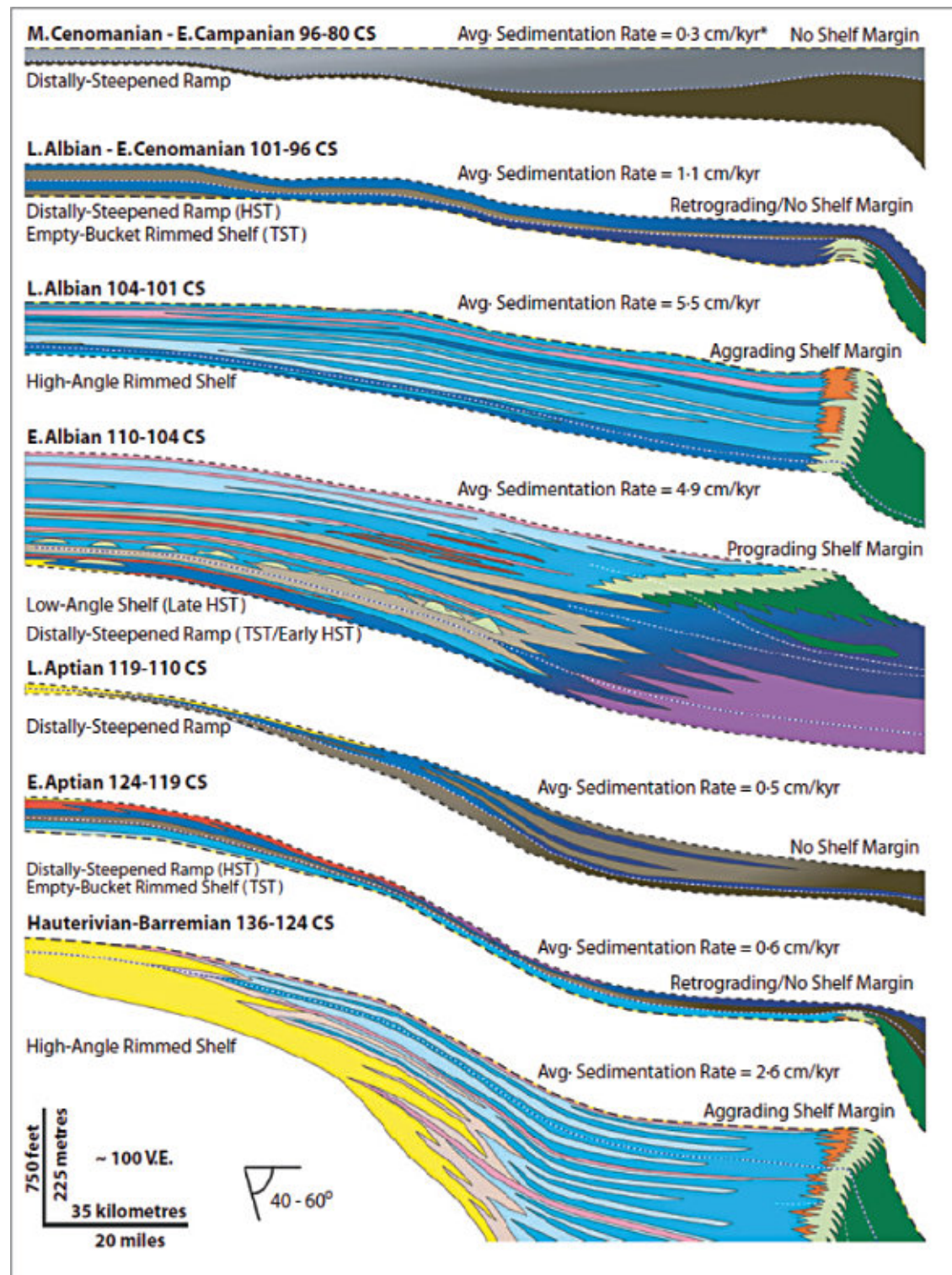


Figure 17 – Changes in platform morphology as documented for the Cretaceous in the northern Gulf of Mexico (Phelps et. al., 2014).

**The Significance of Differentiation to Petroleum Exploration**

Many of the best carbonate reservoir facies, particularly in the Gulf Coast Mesozoic sequences, can be found in the higher-energy facies – typically these would include grainstones and boundstones that are associated with carbonate shoals or reef development. As demonstrated above, these high-energy reservoir-prone facies will occur in different places along the platform profile depending on the physiography (ramp vs. shelf) and where high energy forces (winds, waves, and tides) are dissipated most strongly. On a carbonate ramp, the high energy forces are directed mainly along the shoreline, making updip positions most prone to reservoir development. On a shelf the high energy is directed along the shelf margin, where robust fauna can develop continuous reef systems that can withstand the high energy conditions; thus, reservoir facies are most commonly associated with boundstones and grainstones that are concentrated along the shelf edge. Of course, these are but two end-member cases and many intermediate situations can occur (see Figures 3 and 17), but by using these criteria from the various models and examples, it is possible to predict where one should expect to find high-energy reservoir-prone facies in carbonate depositional systems. Diagenetic alteration is a factor to be considered once facies distribution has been determined.

**References**

Ahr, Wayne M., 1973, The carbonate ramp – an alternative to the shelf model; GCAGS Transactions, v. 23, p. 221-225.

Burchette, T. R., and V. P. Wright, 1992, Carbonate ramp depositional systems; Sedimentary Geology, v. 79, p. 3-57.

Dix, George R., Noel P. James, Kurtis Kyser, Yvonne Bone, & Lindsay B. Collins, 2005, Genesis and Dispersal of Carbonate Mud Relative to Late Quaternary Sea-Level Change Along a Distally-Steepened Carbonate Ramp (Northwestern Shelf, Western Australia); Journal of Sedimentary Research, v. 74, no. 4, p.665-678.

Goldhammer, R. K., and C. A. Johnson, Middle Jurassic-Upper Cretaceous paleogeographic evolution and sequence-stratigraphic framework of the northwest Gulf of Mexico rim, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and A. Cantú-Chapa, eds., The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basins, and petroleum systems: AAPG Memoir 75, p. 45-81.

Grammer, G. M., P. M. Harris, and G. P. Eberli, 2004, Integration of outcrop and modern analogs in reservoir modeling: Overview with examples from the Bahamas, in Integration of outcrop and modern analogs in reservoir modeling: AAPG Memoir 80, p. 1– 22.

Harris, P. M. & A. S. Kowalik, 1994, Satellite Images of Carbonate Depositional Settings: AAPG Methods in Exploration Studies, no. 11, 167 p.

Handford, C. R., and R. G. Loucks, 1993, Carbonate depositional sequences and systems tracts— Responses of carbonate platforms to relative sea level, in R. G. Loucks and R. G. Handford, eds., Carbonate sequence stratigraphy: AAPG Memoir 57, p. 3–31.



Montgomery, S. L., 1997, Jurassic reef play: East Texas basin: *Petroleum Frontiers*, v. 13, no. 4, 82 p.

Phelps, Ryan M., Charles Kerans, Robert Loucks, Rui O. B. P. Da Gama, Jason Jeremiah, & David Hull, 2014, Oceanographic and eustatic control of carbonate platform evolution and sequence stratigraphy on the Cretaceous (Valanginian–Campanian) passive margin, northern Gulf of Mexico; *Sedimentology*, v. 61, p. 461-496.

Pomar, L., 2001, Types of carbonate platforms: a genetic approach; *Basin Research*, v. 13, no. 3, p. 313-334.

Read, J. Fred, 1985, Carbonate Platform Models, *AAPG Bull.*, v. 69, no. 1, p. 1-21.

Snedden, J.W., and Galloway, W. E., 2019, *The Gulf of Mexico Sedimentary Basin: Depositional Evolution and Petroleum Applications*, Cambridge University Press, 343 p.



Geologist and Chicago native **Carl Steffensen** (BS. Geology '80, Illinois; MS Geology '82, Texas A&M) has nearly 40 years collaborative industry experience and team leadership with ARCO, Vastar, BP, Statoil/Equinor, and Viking GeoSolutions LLC. During his career he has worked a variety of Tertiary, Mesozoic, Paleozoic, and Pre-Cambrian exploration and production projects in the Gulf of Mexico (shelf and deepwater), onshore Gulf Coast, Midcontinent, Midwest, southeastern US, Mexico, and Latin America, with a focus on basin analysis, carbonate and siliciclastic depositional systems, and petroleum systems. Carl spent 14 years working on new country access opportunities, with particular focus on Mexico and leading collaboration workshops with numerous exploration teams within PEMEX. His experience also includes responsibility for technical assurance of global exploration opportunities providing a consistent measure of risk, resources and ranking, sustaining industry-leading standards and delivering practical coaching of technical exploration methodology and workflows to deliver quality opportunities. Carl has more than 15 years' experience in college recruiting and mentoring, has served in many positions with both the Houston Geological Society and the AAPG, currently serves as an AAPG Associate Editor and is an AAPG Fellow and AAPG Certified Petroleum Geologist, as well as a Texas Licensed Geologist.

<https://www.linkedin.com/in/carl-steffensen-072abb60/>

## LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS CIENCIAS GEOLÓGICAS

Un breve ensayo sobre el nacimiento de las ciencias y las revoluciones científicas de la Geología, como fundamento epistemológico para aprehender el mundo físico

Salvador Ortuño Arzate

Geólogo

Πάντες ἄνθρωποι τοῦ εἶδεναι ὀρέγονται φύσει. Σημεῖον δ' ἡ τῶν αἰσθήσεων ἀγάπησις, ἢ ἡ ἐπιθυμία. *El ser humano, por naturaleza, desea saber. Así lo indica el amor a los sentidos...*

Aristóteles  
Metafísica

*El conocimiento de la Geología, como ciencia de las leyes y la historia de la naturaleza, nos provee una perspectiva histórica invaluable, pues sin ella es "muy difícil comprender lo que realmente sucede hoy en el mundo. Debemos entender las estrellas, las rocas, las bacterias, los dinosaurios, a nuestros antepasados antropoides y, en nuestro caso, a los antiguos mesoamericanos, para ubicarnos correctamente en el complicado, vertiginoso y desesperante mundo del presente."*

Víctor M. Toledo; periodista.

En las diferentes etapas del desarrollo histórico de las ciencias geológicas y durante la concepción de sus hipótesis, teorías y leyes, éstas han tenido una gran importancia e influencia en la concepción científica global y la comprensión integral de la naturaleza. Es así como la creación de un núcleo doctrinal en la Geología ha generado, desde épocas pasadas, un sinnúmero de discernimientos específicos y definitorios, los cuales influyeron de manera contundente en el pensamiento científico y en el desarrollo de las ciencias naturales y humanísticas de nuestra inquietante historia humana.

Este ensayo vuela en el tiempo, desde las lejanías de la historia clásica, pasando hacia el Medievo, el Renacimiento de las ideas, el inicio de las intuiciones eruditas de la filosofía y la historia naturales durante los siglos XVIII y XIX, hasta las revoluciones científicas de nuestro siglo complejo y convulso, para asistir al encuentro prometeico de la humanidad con su maravilloso hogar: la Tierra, objeto celeste y paradigmático de la fascinación de todo el pensamiento geológico.

### 1.- Las Primeras Ideas Geológicas en el Mundo Clásico

Las primeras ideas registradas relativas a la "lentitud de los procesos geológicos" y al principio de "las causas actuales" fueron enunciadas por Aristóteles (384 – 322 a. C.) y Estrabón (63 – 20 a. C.), respectivamente. Ambos principios geológicos no fueron admitidos sino hasta el siglo XIX, influyendo de manera definitiva en la evolución de la ciencia durante el siglo referido.

Aristóteles menciona, en los textos de la obra *Los meteoros*, conceptos esenciales sobre la lentitud de los procesos geológicos:

*"Los mismos lugares de la tierra no siempre son húmedos, o secos, sino que cambian según la aparición y la desaparición de los ríos; por eso también se producen cambios en la disposición de las tierras emergidas y del mar, y tanto la*



tierra como el mar no permanecen siempre iguales, sino que se encuentra un mar allí donde estaba la tierra firme, y allí donde ahora se encuentra el mar habrá de nuevo una tierra. Y debemos pensar que estos hechos se producen según un cierto orden y una cierta periodicidad... Debido a que toda la evolución física de la tierra se produce gradualmente y en tiempos muy largos comparándolos con nuestra vida, estos cambios escapan a la observación y tiene lugar la destrucción y ruina de razas enteras antes de que puedan observarse estos cambios desde el principio hasta el final... Puesto que necesariamente hay algún cambio en el universo considerado como un todo, sin que a pesar de ello haya generación y corrupción, puesto que el universo es eterno, es necesario... que los mismos lugares no sean siempre húmedos debido al mar y a los ríos, ni siempre secos... Si los ríos nacen y mueren y si los mismos lugares de la tierra no están siempre cubiertos por las aguas, es necesario que el mar sufra los cambios correspondientes. Y si el mar siempre pierde por un punto y gana por otro, es claro que las mismas partes de toda la Tierra no son siempre ya sea mar, ya sea continente, sino que todas cambian con el tiempo".<sup>1</sup>

Esta concepción aristotélica define un cosmos (κοσμος, en el sentido de mundo) producto de procesos graduales y cíclicos –sin eventos catastróficos- y ocurriendo en un contexto de tiempo ilimitado. Esta visión de eventos distribuidos cronológicamente en el tiempo produce, a la larga, grandes efectos y cambios en el planeta. Esta visión dialéctica se acerca a la doctrina uniformista que sería claramente enunciada en el siglo XIX por James Hutton y Charles Lyell.

Por otro lado, Teofrasto menciona en algunos textos ciertos aspectos que hacen referencia a los procesos sedimentarios de depósito, provocados por los movimientos de la dinámica marina sobre áreas emergidas:

*"Como prueba de la antigua sumersión por las aguas del mar, han quedado depositados cantos rodados, conchas y varios objetos por el estilo de los que habitualmente son lanzados con la espuma sobre las orillas del mar".<sup>2</sup>*

A Anaximandro (611-547), filósofo materialista jónico, se le atribuye la obra *De la Naturaleza*, así como un mapa de la tierra conocida, trabajos para determinar la talla y la distancia de las estrellas, la invención del cuadrante solar; y finalmente afirmó que la Tierra era esférica y situada en el centro del mundo<sup>3</sup>.

Allá, durante la época helenística de la erudición alejandrina, *summa* de la herencia clásica griega, Eratóstenes (276-196 a. C.), gran erudito y director de la Biblioteca de Alejandría, tuvo la ingeniosa intuición de indagar las causas por las cuales los bastones, palos o columnas verticales proyectaban sus sombras durante el mediodía del 21 de junio (solsticio de verano) en la ciudad de Alejandría, mientras que, simultáneamente a esa hora, en Siena (situada cerca de la primera catarata del río Nilo), el sol no proyectaba sombra alguna de los objetos verticales. Con la sola intuición científica que le asaltó y la ayuda de las relaciones geométricas fundamentales enseñadas por Euclides de Megara (450-380 a. C.), Eratóstenes calculó, con gran aproximación a las mediciones modernas, la circunferencia de la Tierra, en 40,000 kilómetros. Midió el ángulo del arco, con origen en el centro de la Tierra, existente entre las ciudades de Alejandría y Siena, equivalente a 7° grados, respecto a los 360° de la circunferencia terrestre. Eratóstenes llegó a colegir (inducción - deducción epistémicas) que la superficie de la Tierra es curvada; ¡siendo el primero en medir las dimensiones de un planeta! Este descubrimiento fue fundamental en el conocimiento geológico de nuestro planeta.

Posteriormente, otros pensadores como Lucrecio (ca. 98-55 a. C.), Séneca (3 a. C. – 65 d. C.) o Plinio (ca. 62-114 d.C.), llamado "el Joven", relatan descripciones sobre fenómenos volcánicos (cf. la erupción del volcán Vesubio en el año 79, narrada por Plinio el Joven), sísmicos y otros eventos geológicos. Tales registros son importantes porque permiten ubicar en el espacio y en el tiempo fenómenos determinantes para la historia geológica del planeta. Además, otros estudiosos de la

<sup>1</sup> Aristóteles: *Acerca del Cielo y Meteorológicos*, con Intr., trad. y notas de M. Candel. Rev.: D. Riaño, Biblioteca Clásica Gredos, Madrid, España.

<sup>2</sup> Puiggrós, Rodolfo, 1997.- *El Origen de la Filosofía*. Costa-Amic Editores, S. A. México, D. F. 297 p. Asimismo, se puede citar la obra: Robin, L., 1942.- *L'Atomisme ancien et la pensée hellénique*. Paris.

<sup>3</sup> Brun, Jean, 1995.- Los Presocráticos. Colección ¿Qué sé? Publicaciones O.S. A. y CNCA.

naturaleza como el astrónomo Ptolomeo y el médico Galeno -ya en el siglo II d. C.- son también notables por sus descripciones y observaciones sobre diversos fenómenos geológicos.

En la noción de los cambios continuos en la naturaleza y en el tiempo, discernidos por Aristóteles, similarmente el escritor latino Séneca, escribe, como observador naturalista (en *De qualitate temporis*):

*Ōmniā tēmpūs ēdāx dēpāscītūr, ōmniā cārpīt,  
Ōmniā sēdē mōvēt, nīl sīnīt ēsē dīū.  
Flūmīnā dēfīcīūnt, prōfūgūm mārē lītōrā sīccāt,  
Sūbsīdūnt mōntēs ēt iūgā cēlsā rūūnt.*

*(El tiempo voraz todo consume, todo arranca,  
Todos los sitios mueve, nada permite ser por mucho tiempo,  
El río desciende, prófugo, al mar, los litorales seca,  
Los montes se hunden y las crestas elevadas se desmoronan.)*

Ulteriormente, durante el desarrollo de las apologías cristianas, -donde destaca la labor de Tertuliano (nacido en Cartago hacia 160 d. C.), Justino mártir (ca. 100 – ca. 165), Agustín de Hipona (354-430), Clemente de Alejandría (ca. 150-213) y Orígenes de Alejandría (185-253)-, existe una evidente obsesión por encontrar pruebas del Diluvio universal, por lo que la búsqueda y estudio de los fósiles de origen marino cobra una importancia inusitada, así como de los estratos donde éstos se alojaban. Esta inercia del estudio de los eventos geológicos del Diluvio universal llega hasta ya entrado el siglo IV. Esta etapa de los llamados padres de la "filosofía de la iglesia" nace de la lectura exegética de las Escrituras hebrea y griega, así como de los textos clásicos.

## 2.- Los Primeros Conocimientos Geológicos durante el Medioevo: comienza la exégesis del libro de la naturaleza

Ya durante el período llamado Medioevo, al final del siglo IV, el Imperio romano se debilita profundamente, luego de la muerte del emperador Flavio Teodosio (llamado el Grande, 347-395) y los insistentes ataques de los pueblos bárbaros. El latín vulgar se expande y evoluciona en numerosas lenguas derivadas y el cristianismo también se difunde y arraiga por los otrora dominios del Imperio romano, no sin conflictos y las contingencias inherentes. Empieza, entonces, el poderío del Imperio de Oriente asentado en Bizancio o Constantinopla. Durante estas etapas del Medioevo, la ciencia antigua (del periodo clásico griego-romano) languidece y se debilita casi totalmente.

Empero, durante los siglos VII y VIII surge en Oriente una brillante civilización fundamentada en el florecimiento del islam y la lengua árabe, extendiéndose por casi todo el Oriente Medio (Siria, Irán, Irak y Persia), y hasta el norte de África y la Península Ibérica. Así, Bagdad (Irak), Damasco (Siria) y Córdoba (España) se transforman en los centros más importantes de la actividad del mundo árabe, donde árabes, judíos, indios y cristianos participan en la edificación de una nueva cultura científica y de conocimiento de esos tiempos.

Esta cultura es la heredera de la cultura clásica griega y latina y de otras fuentes que se consolidan en la región mediterránea hacia esas épocas. Además de estas actividades de asimilación y recopilación de textos antiguos, tiene lugar un desarrollo importante de una nueva cultura de las ciencias naturales y exactas (particularmente las matemáticas). Es para esta época que se han encontrado textos debidos a una secta que vivió en Basora (situada entonces al sur del actual Irak), conocida como los Hermanos de la Pureza. Su visión de la naturaleza procede, en su base, de la obra aristotélica y neoplatónica. En su visión de la fenomenología geológica, se relacionan de forma lógica los diferentes procesos de la geodinámica externa como la erosión, el transporte de sedimentos, la sedimentación marina, la surrección posterior de





montañas, mientras que el mar cubre las tierras antiguas, en un contexto temporal ilimitado (tiempo geológico). También se describen los procesos de la sedimentación capa por capa, en su acontecer como proceso natural-geológico en el tiempo. Éstas son las primeras lecturas del libro de la Tierra.

Otros dos importantísimos pensadores de esta época fueron Avicena (980-1037) y Averroes (1126-1198). El primero, de origen iraní (de la primera mitad del siglo XI), establece que los restos fósiles son animales y plantas petrificadas por “una cierta energía petrificante” y que las montañas tuvieron surrección debido a la acción de terremotos o por la erosión que habría generado valles y montañas. Por su parte, el filósofo árabe Averroes, que fue un fiel y profundo comentarista de Aristóteles, refiriéndose a *Los meteoros* afirma que “los mares y las tierras permutan muy lentamente, fenómeno cuyos efectos no aparecen más que al final de múltiples millares de años”.

Finalmente, se puede mencionar a otro personaje importante del desarrollo de la Geología durante el medioevo que fue Ristoro d'Arezzo (pensador italiano que vivió durante el siglo XIII y contemporáneo de Dante Alighieri (1265-1321)<sup>4</sup>, quien pensaba que el modelado del relieve terrestre se debía a la acción de los ríos, el mar, los terremotos y el Diluvio universal. En su obra intitulada *Composizione del Mondo* (ca. 1282) sugiere algunas teorías geológicas concernientes a la estructura interna del planeta, la existencia natural de los fósiles y la dinámica sedimentaria de los procesos geodinámicos externos. Observó y describió un eclipse solar en 1239, en su proceso total como fenómeno natural. Es el inicio del florecimiento del conocimiento y el arte en Europa.

### 3.- Inicios del Pensamiento Racional Geológico Durante el Renacimiento

Este periodo, que abarca la segunda mitad del siglo XV y la totalidad del siglo XVI, se caracteriza por cambios importantes, entre los que destacan:

- 1.- El desarrollo de la erudición humanista, fundamentada en los estudios del periodo clásico greco-romano. Se da una reinterpretación y lectura de los filósofos griegos Platón y Aristóteles; que habían sido olvidados durante el Medioevo.
- 2.- La manifestación de la Reforma protestante en Europa, que propicia la lectura e interpretación literal (no alegórica) y hermenéutica de los textos del Antiguo y Nuevo Testamento. Un caso es la relectura del Génesis mosaico, con relación al origen del cosmos.
- 3.- El desarrollo económico sobresaliente de los principales países europeos, el cual propicia el ascenso de las clases medias, así como un inusitado interés por el conocimiento científico y el desarrollo de la técnica. El arte tiene, también, un inusitado desarrollo, y cuya preminencia se situó en Italia.
- 4.- La invención de la imprenta, por lo cual comienza la divulgación de una gran variedad de conocimientos; los libros comienzan a llegar a la población. El conocimiento llega a ser una labor individual para algunas clases sociales, al margen de las instituciones eclesiásticas o de poder.

En fin, todos estos y otros cambios fundamentales proveen el ambiente para el estudio y la actividad intelectual que escudriña y se pregunta por el mundo, su constitución, sus procesos, es decir, las ciencias geológicas y las ciencias físicas; además del interés por las humanidades, las ciencias exactas y el arte. Estas áreas de conocimiento se desarrollan a la par.

<sup>4</sup> Ristoro d'Arezzo, 1282.- *La Composizione del Mondo*. Texto italiano. Authors: Ristoro d'Arezzo, Enrico Narducci e Francesco Fontani. Publisher: Tip. Delle Scienze matematiche, 1859. The New York Public Library. Digitized 23 Jun 2006. 348 pages.



Otros pensadores de la antigüedad renacentista marcaron pasos importantes para las ciencias geológicas; entre ellos pueden citarse: Leonardo da Vinci (1542-1519) que construyó la primera sección geológica y concibió las primeras interpretaciones correctas sobre el origen de los restos fósiles y de las rocas químicas de evaporación. Describió también los procesos erosivos, el transporte de sedimentos y los procesos de la sedimentación y de la fosilización. Interpretó adecuadamente los procesos geológicos y su desarrollo durante grandes periodos de tiempo. Por otra parte, Gellibrad (1597-1636) realizó mediciones de las variaciones de la declinación magnética. A. Kircher (ca. 1664) efectúa las primeras deducciones correctas sobre el gradiente geotérmico. Nicolás Steno (1638-1686), realiza notables avances en los estudios de la Cristalografía y en la concepción del principio de la superposición de los estratos, y su relación, y representación material del tiempo geológico transcurrido (la unidad tiempo-roca de la cronoestratigrafía posterior), así como en la interpretación de los eventos de deformación tectónica-estructural y su cronología relativa; etc. La simple lógica se va imponiendo.

En las ciencias geológicas, la Mineralogía fue la primera ciencia que comenzó su camino ascendente de desarrollo, debido al interés de la industria primitiva de entonces, sobre el uso de minerales y materiales. En esta línea, se considera a G. Bauer (1494-1555) como el fundador de la Mineralogía; publicó *De natura fossilium* (*Sobre la naturaleza de los fósiles*, en 1530) y *De re metallica* (*Sobre los objetos metálicos, (o minerales)*, en 1546, y realizó una de las primeras descripciones ordenadas de los minerales. Además, Bauer, también conocido como Agrícola, preconiza la existencia de tres grandes fuerzas activas en la formación y destrucción de las montañas: el aire, el agua y el fuego (¡curioso: los elementos de los filósofos pre-socráticos, pero ahora funcionando como agentes geológicos!). Consideró al agua como el principal agente del modelado del relieve terrestre: la destrucción y desmantelamiento de las montañas. Conrad Gesner fue uno de los más destacados naturalistas de su época; publicó una obra intitulada *De rerum fossilium* (*Sobre los objetos fósiles*), conteniendo ilustraciones de fósiles y donde plantea clasificaciones y jerarquías entre los restos fósiles.

Entre las principales ideas referentes a los restos fósiles, una conceptualización determinante era la del origen orgánico de éstos. Un texto que apoyaba el origen orgánico de los restos fósiles fue el de Martín Lutero (1483-1546) quien, en 1554, comentando el libro del Génesis e intentando explicar la contradicción existente entre la geografía actual y la descripción bíblica del Edén, entiende o explica el Diluvio como un gran cataclismo que cambió la faz de la Tierra y del que los fósiles serían pruebas evidentes de los organismos que vivieron en ambientes marinos en esas épocas. Interpretación que ya había también inferido Leonardo da Vinci (1452-1519), años antes. He aquí, también, la exégesis bíblica en la explicación del mundo.

### 4.- Conceptos Geológicos Durante los Siglos XVII y XVIII

La revolución científica, que proviene desde el Renacimiento, se acentúa en el siglo XVII. En este siglo ocurren acontecimientos que serían decisivos para el desarrollo de la Geología como ciencia formal; éstos son los siguientes:

- 1.- Tiene lugar la concepción de la teoría copernicana, que ubica a la Tierra no como el centro del universo, sino como un planeta más del sistema solar; en un Universo infinito y una dimensión de tiempo también infinita. El heliocentrismo sustituye al geocentrismo ptolemaico.
- 2.- El nacimiento de la concepción mecanicista, que considera la materia como constituida por partículas, y todas las propiedades de la materia pueden ser explicadas por el movimiento y la interacción de tales partículas. De este hecho se deduce que las leyes a las que está sometida la materia, son las mismas en todas partes del Universo. Una conjetura metafísica que se formula como inducción.

3.- Se formaliza la institucionalización de la actividad científica, con el desarrollo de sociedades científicas, así como de entidades académicas en los centros de enseñanza universitarios.



Además de lo anteriormente mencionado, en el siglo XVII tiene lugar un inusitado interés por la lectura de obras diversas, como fue también la de las Escrituras Sagradas. La interpretación de éstas es literal o alegórica; hechos, éstos, relacionados con el impulso por el estudio de las revelaciones sagradas impulsado por el pensamiento luterano y calvinista, frente a la posición atávica y retrógrada de la iglesia católica, y que aún persiste. Por esos motivos, fue sacrificado en la hoguera Giordano Bruno (1548-1600), por simpatizar con la cosmología copernicana y las ideas libre-pensadas en torno a las enseñanzas religiosas católicas y poner en duda la creencia en el Diluvio, así como profesar ideas sobre el cambio y evolución de los procesos naturales. Finalmente, una posición sensata y acorde con los hechos estudiados y constatados por los nuevos hallazgos científicos, permite paralelizar y complementar la revelación bíblica con la existencia de las leyes de los procesos naturales, así como la estructura y cosmogonía acerca del mundo natural. Algunos autores consideraban que sus observaciones confirmaban y hacían más inteligibles las leyes y acontecimientos referidos en los diversos libros de la Biblia, particularmente en el Génesis mosaico. De ello se colegía que la edad de la Tierra sólo era de pocos miles de años.

En esta etapa, Descartes (1596-1650) –en su obra denominada *Principios de Filosofía*– bosqueja, según su método científico, un estadio inicial de la materia y va deduciendo, por la vía de la lógica, todas las etapas de una serie de acontecimientos cuyo estado sería el mundo actual. También, según Descartes, luego del enfriamiento de la Tierra, se habría conformado por una serie de capas en orden centrífugo. El colapso y posterior hundimiento de la corteza externa, según Descartes, habría formado los rasgos fisiográficos de los océanos, los continentes y las cadenas de montañas. Esas ideas y conceptos propuestos por Descartes tuvieron una influencia enorme en el pensamiento científico y geológico de la época. Se establece, así, el pensamiento cartesiano: *Cogito, ergo sum*; a la par del método experimental galileano de la naciente ciencia moderna.

Por otro lado, un personaje fundamental en el desarrollo de la Geología, como ciencia, fue Niels Stensen (1638-1686), mejor conocido como Nicolás Steno o Stensen. Steno, estudiando fósiles, inicia el procedimiento científico galileano, consistente en la observación-inferencia-conclusión sobre la fenomenología natural. Por medio de este procedimiento Steno establece que los restos fósiles contenidos en los estratos sedimentarios fueron depositados ahí y luego cubiertos por sedimentos y así, enterrados, preservados y fosilizados, conservando sus estructuras orgánicas. Steno publica algunas de sus observaciones en la obra intitulada *Pródromo* (*Πρόδρομος*, que significa: “que corre adelante, que va hacia adelante”). Título *ad hoc* para una ciencia entonces naciente).

Un aporte fundamental de Steno, en el dominio de la Estratigrafía, al nacimiento formal de la Geología como ciencia natural, fue la postulación de tres principios básicos:

- a.- El principio de la superposición de los estratos. Los estratos superiores son posteriores a los inferiores, en una sucesión de tiempo geológico; lógica sedimentaria y claridad del efecto gravitacional sobre la materia.
- b.- El principio de la horizontalidad original de los estratos;
- c.- El principio de la continuidad lateral de los estratos; o la preconcepción de una cuenca sedimentaria.

De estos principios esenciales se deducirá una serie de implicaciones genéticas, geométricas, de dinámica sedimentaria y de cronología geológica relativa, y que tuvieron ondas repercusiones en las concepciones cronoestratigráficas y bioestratigráficas para la definición posterior de las litofacies y biofacies; elementos fundamentales del análisis secuencial estratigráfico y base de la Geología histórica. Fundamento, a su vez, de todo el conocimiento geológico. La reconstrucción de eventos o fenómenos geológicos fue un procedimiento analítico pionero que Steno realizó en la región de la Toscana, en Italia. Estas observaciones fueron determinantes para el desarrollo científico de las disciplinas geológicas, y de la descripción y explicación de los fenómenos geológicos (sedimentarios y tectónicos). Durante este tiempo y con el avance de los conocimientos en las ciencias geológicas, cada vez era mayor la certeza de que la naturaleza se

sustentaba por unas leyes naturales ordenadas y bien definidas. En esta época se abrían, paso a paso, las nuevas ideas de la Ilustración, es decir, un nuevo movimiento cultural que, en su vertiente científica, se basaba en las perspectivas mecanicistas de Descartes (su *Discurso del Método*), Kepler (1571-1630), (la postulación de las leyes de los movimientos planetarios) y Newton (1642-1727), (descubridor de las leyes de la gravitación universal, aunque no de la gravedad).

En este movimiento cultural de la Ilustración destacan varios personajes que dieron singular impulso a las ciencias naturales. Buffon (1707-1788) en su obra intitulada *Des Époques de la Nature*, publicada en 1778, expone ideas sobre una Tierra en proceso de enfriamiento a partir de una esfera incandescente; calcula la edad de la Tierra en una magnitud mínima de 75,000 años. Para esta historia del planeta propone seis épocas de desarrollo, desde la etapa de formación por un estado de fusión, hasta la aparición del ser humano en la sexta época. Este es un ensayo general del desarrollo de las épocas de evolución de la Tierra y la evolución de la vida en ésta. La obra de Buffon representa la culminación de ideas y conceptos que habían aparecido un siglo antes con Steno y otros pensadores, caracterizados por la fundamentación y la utilización del registro fósil, como base de las evidencias para reconstruir y describir toda la historia de la Tierra. Sus trabajos constituyeron una síntesis (o *summa*) de los conocimientos del siglo.

## 5.- Neptunismo versus Plutonismo; Uniformismo versus Catastrofismo

En el desarrollo e historia de la Geología como ciencia, hacia el final del siglo XVIII y principio del XIX, aparecen y se manifiestan cuatro escuelas de pensamiento geológico. Alrededor de estas escuelas de pensamiento se dan importantes debates y controversias, las cuales constituyeron el crisol de la dialéctica de base de los nuevos avances de las ciencias geológicas.

El antagonismo neptunismo versus plutonismo, se refiere al elemento que se considera el motor esencial de los procesos y fenómenos geológicos. Para el neptunismo es el agua; para el plutonismo, por el contrario, es la dinámica del “fuego interno”, es decir, el calor interno de la Tierra el generador de los procesos geológicos. Aquí, se contraponen, y al mismo tiempo se complementan, los fenómenos geológicos de las rocas sedimentarias y los de las rocas ígneas, respectivamente.

Por otro lado, el debate antagónico entre uniformismo versus catastrofismo se centra en las formas y ritmos de los fenómenos o procesos geológicos. Por su parte, el uniformismo, como teoría, establecía que las leyes que rigen los fenómenos geológicos actuales eran igualmente actuantes en el pasado geológico (principio llamado de las causas actuales y de las causas antiguas: o de la continuidad de los procesos geológicos en el tiempo). Mientras que la escuela catastrofista postulaba que ciertos eventos del pasado geológico sólo podrían ser explicados por fenómenos particulares de gran intensidad y violentos, o catastróficos. En la actualidad el uniformitarismo, también llamado actualismo, se ha impuesto sobre el catastrofismo, aunque los fenómenos violentos (sismos y vulcanismo, principalmente) ocurren, pero no son, en el espacio y tiempo geológico, determinantes en el cambio geológico de largo alcance.

Ahora bien, respecto al neptunismo, el personaje más destacado de esta escuela de pensamiento fue Abraham G. Werner (1749-1817). Según su posición teórica, la Tierra estaba cubierta inicialmente por un océano primitivo que contenía en disolución o en suspensión todos los materiales que constituyeron posteriormente la corteza terrestre. En tal océano se formaron precipitados químicos, los cuales dieron lugar a la mayor parte de las rocas (que actualmente se clasifican como ígneas y metamórficas). Estas rocas se habrían formado en “terrenos primitivos”. Después, a medida que descendían las aguas se generaron los terrenos de transición, caracterizados por precipitados químicos y sedimentación mecánica (sedimentos detríticos); éstas serían las rocas sedimentarias paleozoicas conteniendo fósiles marinos. Seguidamente, luego de un nuevo descenso del nivel del océano, fueron depositados nuevos sedimentos mecánicos y químicos los cuales constituyeron las formaciones mesozoicas. Finalmente, en las regiones más bajas se depositarían los terrenos aluviales, procedentes de la erosión de materiales terrestres más antiguos. Apoyando estas ideas de Werner, Georges Cuvier (1769 –



1832), paleontólogo pionero francés, estableció el principio que las sucesiones de fósiles marinos han caracterizado diferentes periodos de la historia geológica. Asimismo, en este modelo werneriano, las rocas volcánicas serían el testimonio de la actividad volcánica acaecida según su modelo. Esta escuela de pensamiento fue atacada, luego que los estudios petrológicos posteriores demostraron que las rocas ígneas, como los granitos y los basaltos, eran generados por la actividad ígnea y la actividad volcánica, respectivamente.

Por su parte, la escuela del plutonismo, protagonizada por James Hutton (1726-1797), postulaba el origen de las rocas ígneas (los granitos y los basaltos) como rocas procedentes de la solidificación de los magmas al interior de la corteza terrestre, y de lavas al exterior durante la actividad volcánica, respectivamente. Hutton establecía que la Tierra era un cuerpo en lento y constante cambio, en el que las rocas de las áreas continentales estaban siendo erosionadas continuamente por la acción de los ríos y el mar. Los sedimentos generados eran acarreados a los mares y océanos y depositados en el fondo, formando estratos continuos en posición horizontal. Tales estratos se apilaban y la presión y hundimiento de éstos por causa de la carga de otros que los cubrían, ocasionarían su calentamiento paulatino y consecuente fusión para formar magmas. Posteriormente, el magma podría ascender y conformar nuevas rocas ígneas o salir a la superficie en forma de lava, provocando actividad volcánica. Tal actividad ígnea formaría continentes, elevaciones y montañas en los lugares donde existían océanos antiguos, mientras que las áreas continentales, fuertemente erosionadas, llegarían a ser nuevos océanos. Por este proceso, se iniciaba un nuevo ciclo de erosión-depósito-consolidación-elevación; en una sucesión de eventos geológicos sin fin. Este concepto del cambio perenne animado por la dinámica terrestre sería la esencia del Principio del Uniformitarismo, cuyo planteamiento es central para los procesos geológicos naturales y las leyes que los rigen, ocurriendo sin cesar a lo largo de los tiempos y eras geológicas de la historia de la Tierra.<sup>5</sup>

Hutton realizó una gran cantidad de observaciones de campo, es decir, el sujeto cognoscente observa la naturaleza como objeto de conocimiento (principio epistemológico). Así, Hutton expuso sus ideas y concepciones en las *Transactions* de la *Real Society* de Edimburgo en 1788. Ulteriormente publica, en 1795, su obra intitulada: *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations*; en dos volúmenes. Esta obra constituyó un aporte mayúsculo en la consolidación de la moderna Geología; el abandono del catastrofismo se perfiló como definitivo.

John Playfair (1748-1819) fue discípulo y divulgador de las ideas de Hutton, materializándose en su publicación *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*. Ellos fueron los principales representantes de esta escuela uniformitarista, la cual dio un impulso definitivo a la consolidación de la Geología como ciencia natural constituida formalmente, al igual que cualquier otra ciencia precisa y reconocida.

Después de los conceptos establecidos por James Hutton durante la segunda mitad del siglo XVIII, ya en el siglo XIX son desarrollados importantes trabajos por investigadores como William Smith (1769-1839), Georges Cuvier (1769-1832), Alexandre Brongniart (1770-1847) y Charles Lyell (1797-1875), entre otros. Sus proposiciones ya son el resultado de observaciones geológicas, no sólo reflexiones teóricas sin sustento.

Como resultado de las investigaciones de Smith en las series estratigráficas del Mesozoico de Inglaterra y los estudios de Cuvier y Brongniart en la serie sedimentaria de la Cuenca de París, estos investigadores conciben y describen las series estratigráficas (en categorías litoestratigráficas llamadas formaciones) que se encuentran sistemáticamente caracterizadas por grupos faunísticos y fósiles distintivos para cada edad geológica. De estos estudios, los investigadores postularon otro principio fundamental de la Geología –en particular de la paleontología y la estratigrafía: el principio de la sucesión faunística. Este principio se relaciona directamente con otro similar que es el de la sucesión cronoestratigráfica, por el cual los estratos inferiores son más antiguos que los que les sobre yacen. Por su parte, el principio de la sucesión faunística establece que los organismos fósiles aparecen y desaparecen en las series estratigráficas según un ordenamiento

<sup>5</sup> McIntyre, Donald B., 1970.- *James Hutton y la filosofía de la geología*. In Claude C. Albritton, Jr. *Filosofía de la Geología*. Compañía Editorial Continental, S. A. 1ª edición en español. P. 11-24.

determinado e irrepetible. Tal principio es fundamental para el establecimiento de relaciones o correlaciones estratigráficas, de ambientes sedimentarios, relaciones litoestratigráficas, cronoestratigráficas y bioestratigráficas en el espacio geográfico y en el tiempo geológico. Es decir, permite la comparación y relación entre series sedimentarias y estratigráficas de diferentes lugares del planeta. Además de lo anterior, este principio permite inferir la dinámica de la evolución de las especies, sus apariciones y extinciones en el transcurso de las eras geológicas.

Con relación a este principio, algunos investigadores de la época interpretaron que los cambios de los organismos eran graduales, o también, que eran rápidos y repentinos. Estas apreciaciones de los cambios dieron lugar a la concepción del cambio lento o gradualismo, mientras que la visión contraria era materializada en el concepto del catastrofismo. El primero, el gradualismo, fue adoptado por los herederos del pensamiento dialéctico de James Hutton, mientras que el catastrofismo fue abanderado por Cuvier y sus seguidores. Este paleontólogo interpretó la historia de la Tierra como una serie de catástrofes que afectaron la vida durante las eras geológicas, a través de inundaciones marinas repentinas.

Esta visión e interpretación catastrofista, por sus características dialécticas, se oponía a la escuela uniformitarista de Hutton y Lyell. La lucha entre estas dos visiones de los procesos naturales se manifestó fundamentalmente durante la primera mitad del siglo XIX. Como ya se apuntó en párrafos anteriores, estas concepciones dialécticas de la naturaleza, influyeron de manera determinante en la conformación del pensamiento filosófico, económico y político de la época. El marxismo, particularmente la visión histórica y dialéctica, dio como resultado la formulación del materialismo histórico y dialéctico y, por ende, de la concepción de las leyes de la historia como rectoras del proceso. En esta escuela de pensamiento, fue también determinante la concepción del cambio continuo en los seres vivos, es decir, de la evolución por medio de los mecanismos de la selección natural, idea preliminar aportada posteriormente por Carlos Darwin.

En este contexto histórico-científico se desarrollan las concepciones de Charles Lyell. Los conceptos definidos por Lyell fueron dados a conocer por la publicación de su libro *Principles of Geology* (ca. 1830), que tuvo tres ediciones. Los postulados de Lyell fueron determinantes durante la segunda mitad del siglo XIX y primera del XX. Durante este tiempo, gracias a Lyell, fue consolidada la escuela del pensamiento uniformitarista, el cual fue moldeado como postulado actualista.

El principio del actualismo establece que todos los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra, podrían explicarse por las mismas causas que actúan en los procesos geológicos del momento presente; aunque en tales procesos no existe una direccionalidad. El fundamento actualista está definido o sustentado por los siguientes postulados:

- a.- Las leyes de la naturaleza son constantes en el espacio y en el tiempo;
- b.- Todos los fenómenos geológicos del pasado han sido el resultado de procesos similares a los actuales y que han actuado, similarmente, durante todas las etapas de la historia de la Tierra;
- c.- El ritmo del cambio en los procesos geológicos es generalmente lento, regular y gradual;
- d.- El cambio no sigue ningún vector específico de progreso; es decir, el cambio es un ciclo continuo de renovación.

Así, los fenómenos y procesos geológicos habrían ocurrido de la misma forma que en la actualidad. Asimismo, las causas que los han provocado habrían actuado siempre con la misma intensidad. Este principio se ha traducido en la actualidad como el *dictum* del uniformitarismo - actualismo: “el presente es la llave del pasado”; es decir, la comprensión de los fenómenos geológicos del presente es la clave para comprender el pasado geológico.

La visión de uniformistas y actualistas –como Lyell- sobre los fenómenos geológicos y el planeta, era la de un equilibrio estable, caracterizado por procesos de intemperismo, erosión, sedimentación y levantamiento orogénico que habrían sucedido a lo largo de millones de años. En este contexto, ha ocurrido también la evolución y cambio de todas las formas de vida sobre el planeta, y cuyas etapas han estado en concordancia e influencia de los procesos geológicos. Ésta es una visión dialéctica del cambio, que es gradual. Donde uniformitarismo, actualismo y gradualismo son postulados de las ciencias geológicas –que son también la esencia del concepto evolutivo de las especies- y que aún en la actualidad,



constituyen los fundamentos de la Geología moderna. Empero, siempre se ha considerado el principio del uniformitarismo-actualismo, como una generalización inductiva. Sin embargo, según Karl R. Popper este principio geológico funcionaría mejor como una conjetura metafísica, es decir, una hipótesis de trabajo materializada en el postulado de la invariabilidad de las leyes de la naturaleza en el tiempo y en el espacio geológicos<sup>6</sup>. Ya que no existe en la ciencia la comprobación racional de que las leyes de la naturaleza (de la física, de la química), sean válidas en todo el espacio y tiempo y sus infinitas condiciones de estado. Además de no cumplirse, en el pasado inaccesible, el principio de la controlabilidad científica de los fenómenos.

Al final del siglo XIX, el descubrimiento y estudio de la radiactividad por Becquerel (1788-1878) y Pierre y Marie Curie (1859-1906 y 1867-1934, respectivamente), serían la base para comprender el origen del calor interno de la Tierra, tanto producto de su estado incandescente original en proceso de enfriamiento, como por el calor adicionado por la desintegración radiactiva. Con estos descubrimientos se dieron las bases para interpretar el interior de la Tierra como sistemas de fluidos susceptibles de generar movimientos, no sólo verticales, sino sobre todo horizontales.

Tal visión de la Geología, conformada básicamente durante los siglos XVIII y XIX, marca el inicio formal de la Geología como ciencia, como ciencia histórica (ideográfica) y nomotética, ya que su visión epistemológica es identificar y comprender las leyes que rigen los procesos permanentes y constantes de la naturaleza. Las leyes de la naturaleza, que rigen los procesos geológicos, se manifiestan como fenómenos empíricamente determinados, aunque no pueden ser deducidos de las categorías kantianas, se refieren y están completamente todos sujetos a ellas. Pues tales categorías corresponden a los principios trascendentales, como las intuiciones de espacio y tiempo (*verbi gratia*) y de la forma de percibirlos en la aprehensión epistemológica. El sujeto cognoscente aprehende los fenómenos en el espacio-tiempo, y así establece, seguidamente, juicios y categorías. Estas últimas caracterizan los resultados (estratos, pliegues, estructuras diagenéticas, tectónicas, etc.), o efectos de los procesos geológicos, interpretados, inducidos o deducidos por los geólogos en tanto que sujetos cognoscentes.

## 6.- Controversia Fijismo versus Movilismo

A principio del siglo XX, tienen lugar varios episodios de controversia entre las escuelas de pensamiento denominado fijista, contra las nociones movilizadas, respecto a la movilidad vertical u horizontal de las grandes estructuras tectónicas y corticales terrestres, respectivamente. Es el tiempo en que comienzan a desarrollarse las ramas de la Geofísica y sus herramientas para la investigación del planeta por métodos indirectos, midiendo las propiedades físicas de los materiales rocosos (conductividad, densidad, acústica, radiactividad, etc.). Para la Sismología profunda del interior de la Tierra, son notables los trabajos de Pignataro, Mohorovicic y Gutenberg, entre otros.

Ya desde el final del siglo XIX, los geólogos habían aceptado, *grosso modo*, el modelo propuesto por Élie de Beaumont (1798-1874), que interpretaba que la Tierra, partiendo de un estado inicial de fusión, se encuentra en un proceso continuo de enfriamiento y solidificación; por lo cual tendría un efecto de contracción y, por tanto, una pérdida de volumen importante. Por esta causa, la corteza primitiva de la Tierra que se había formado cuando el interior de ésta se encontraba fundido (*cf.* Buffon y Laplace), y por ello muy dilatado, se habría contraído o “plegado” debido al menor volumen. De esta manera, los sistemas orogénicos serían el resultado de la contracción.

Estas concepciones sobre el interior de la Tierra y la contracción de su corteza fueron aceptadas y desarrolladas por otros geólogos eminentes como James D. Dana (1813-1895) y Edouard Suess (1831-1914). Por lo cual Dana construye la ingeniosa teoría geosinclinal. Similarmente, y por efecto de la formación de los sistemas montañosos, los océanos habrían

<sup>6</sup> Manrique Bonilla, J. A., 2009.- Estatus epistemológico del principio de uniformismo en Geología, desde la teoría del conocimiento del filósofo Karl R. Popper. Boletín de Geología, Vol. 31, no. 1, enero - junio 2009.

sido generados por el hundimiento y colapso de otros sitios del planeta, debido a los diferenciales de presión litostática provocados por estos fenómenos. Los continentes, siendo más ligeros en su constitución, flotarían emergidos sobre los materiales de los fondos oceánicos. Todas estas ideas y concepciones corresponden a la escuela fijista. Y para explicar estos movimientos verticales de la corteza terrestre se proponen los mecanismos de la isostasia. La concepción de la isostasia está ligada a las investigaciones de John H. Pratt (1809-1871) y George Airy (1801-1892). Parecía evidente que los fenómenos isostáticos se relacionaban con el calor interno de la Tierra y la existencia de comportamientos viscoso-plásticos propuestos por Suess, y materializando tres capas concéntricas: corteza superior, manto intermedio y núcleo central.

Las ideas y conceptos descritos precedentemente definieron, en el siglo XX, dos corrientes de pensamiento geológico opuestas: los atomistas y los aristotélicos. El primer grupo estaba representado, ya en los siglos XVIII al XX, por Charles Lyell (1797-1875), Eduard Suess (1831-1914), Alfred Wegener (1880-1930) y Emile Argand (1879-1940); mientras que la segunda corriente era representada por Leopold von Buch (1774-1852), Georges Cuvier (1769-1832), L. Élie de Beaumont (1798-1874), James Dana (1813-1895), T. C. Chamberlin (1843-1928), Leopold Kober (1883-1970) y Hans Stille (1876-1966). El nombre de atomistas y aristotélicos les viene del atomista Demócrito (460-370 a. C.) y Aristóteles (384-322 a. C.), respectivamente, pues su pensamiento procedía de las concepciones de esos mismos filósofos. También, respecto al siglo XX, estas escuelas de pensamiento geológico eran denominadas como escuela Wegener-Argandiana y Kober-Stilleana, respectivamente.<sup>7</sup>

El principal argumento de la escuela aristotélica (que en el siglo XX se personifica en la escuela Kober-Stilleana), propone que la orogenia es un evento episódico, globalmente sincrónico y que debe ser estudiado bajo un enfoque determinístico no uniformitarista. Los ciclos orogénicos y geosinclinales serían un ejemplo de enfoque determinístico. Mas, por otra parte, el pensamiento atomista (cuya escuela representativa en el siglo XX fue la de Wegener-Argand), establece que la orogenia es un evento generalmente continuo en el tiempo geológico, aunque localmente es un evento discontinuo, o irregular y no episódico (no sincrónico) en el espacio geológico<sup>8</sup>. Por tanto, los fenómenos geológicos son no determinísticos, o sea, son no lineales. Es decir, los procesos geológicos son caóticos, no determinísticos. Esta misma visión epistemológica se puede, y debe aplicarse, a los fenómenos sedimentológico-estratigráficos, magmático-volcánicos, geodinámicos internos y externos y, por ende, a los de la Tectónica global. *Ergo*, la sincronía y episodidad de los fenómenos geológicos, *sensu stricto*, no existe en el contexto regional, continental o planetario.

## 7.- La Era del Último Paradigma Revolucionario de la Geología: La Tectónica de Placas

En contraparte con la escuela del pensamiento fijista, la escuela de pensamiento movilista comienza su nacimiento a partir de las ideas y conceptos del meteorólogo alemán Alfred Wegener (1880-1930). Esta corriente postula los movimientos horizontales de la corteza terrestre a partir de los desplazamientos de bloques de la corteza, debido a fuerzas procedentes del interior de la Tierra. Wegener proponía la idea a partir y sobre un supercontinente inicial (Pangea), el cual se escindió formando fragmentos que comenzaron su separación a principios del Mesozoico, hasta llegar a la conformación de los continentes actuales. En la concepción movilista o de desplazamiento de estos fragmentos de corteza, Wegener proponía que los materiales que conforman los continentes eran de una densidad menor, por ello se mantenían “flotando” sobre los materiales que constituían los materiales de los fondos oceánicos. Esta concepción del desplazamiento de placas de corteza terrestre se denominó Deriva continental.

El concepto, y mecanismo, de la Deriva continental surgió fundamentado en los siguientes hechos:

<sup>7</sup> Sengor, A. M. C., 1991.- *Timing of Orogenic Events: a Persistent Geological Controversy*. In Müller, D. W., J. A. McKenzie & H. Weissert, 1991.- *Controversies in Modern Geology. Evolution of Geological Theories in Sedimentology, Earth History and Tectonics*. ISBN: 0-12-510340-9. P. 405-473.

<sup>8</sup> Sengor, A. M. C., *op. cit.*, p. 405.



- a.- La complementariedad y ajuste perfecto de las líneas de costa de América del Sur y de África a ambos lados del Océano Atlántico;
- b.- La similitud y complementariedad geológica de los terrenos en América del Sur y África, a ambos límites del Océano Atlántico;
- c.- Similitud, continuidad y correlación paleontológica entre restos fósiles de comunidades de fauna y flora del Paleozoico y Mesozoico entre América del Sur y África. Lo cual probaba que ambos continentes formaban uno sólo durante esas eras geológicas;
- d.- Pruebas paleoclimáticas, según las cuales los sedimentos y series estratigráficas evidenciaban condiciones climáticas comunes para ambos continentes, ahora separados por el Océano Atlántico.

En resumen, éstas y otras evidencias científicas permitían reconstruir la historia geológica de los continentes, los cuales han derivado, o se han desplazado hacia diferentes posiciones geográficas y latitudinales sobre el globo terráqueo. En esta dinámica, los continentes estuvieron unidos en una sola masa continental llamada Pangea durante el Paleozoico<sup>9</sup>. O también, la conformación de la unión de los continentes de América del Sur, la parte meridional de México, África, Arabia, Antártica y Australia, conformando el supercontinente llamado Gondwana; y similarmente, la unión de los continentes de América del Norte, Europa y Asia constituyendo otro supercontinente: Laurasia, durante el Paleozoico.<sup>10</sup>

La teoría de la Deriva continental ha sustentado la explicación de la formación de las cadenas montañosas, tan espectaculares en diversos continentes; las glaciaciones acaecidas durante diferentes eras geológicas, etc. Pero, ¿qué clase de fuerza era capaz de provocar que los continentes se desplazaran a través de distancias de varios miles de kilómetros? ¿Cuál era el mecanismo motriz de la deriva continental? “Es decir, la explicación del *efecto* no tenía sentido si no se podía explicar la *causa*: así, aun cuando la teoría de Wegener de la deriva continental proporcionara explicaciones lúcidas de muchos efectos geológicos, tales como la glaciación y la formación de montañas antiguas, difícilmente podía ser considerada como científica si no podía explicar también qué fue lo que originalmente provocó los movimientos continentales.”<sup>11</sup> El debate sobre las verdaderas causas de la deriva de los continentes persistió hasta la década de los años sesenta del siglo XX. La explicación llegaría más tarde, con el descubrimiento de gran cantidad de evidencias y mecanismos, lo cual permitió la concepción de la teoría de la Tectónica de placas. Este es el paradigma actual de la Geología del siglo XX, y XXI, incluso.

Los hechos comprobados y los nuevos datos aportados fueron consolidando este novedoso paradigma geológico. Entre estos argumentos pueden mencionarse:

- a.- El magnetismo y paleomagnetismo terrestres (materializados en los registros de las bandas paleomagnéticas);
- b.- El desplazamiento de los polos magnéticos;
- c.- La teoría de la convección del manto terrestre;
- d.- La exploración del fondo oceánico y el descubrimiento de la existencia de las dorsales oceánicas o zonas de rift;
- e.- El descubrimiento de la existencia de las fosas oceánicas tectónicas, atestiguando las zonas de inserción de corteza bajo otro tipo de corteza terrestre (la subducción);
- f.- La existencia de las zonas (y mecanismos) de las fallas transformantes;
- g.- La concepción de la hipótesis de la expansión del fondo oceánico; etc.<sup>12</sup>

Con la construcción de la Tectónica de placas como teoría y hecho científico, se conciben conceptos nuevos como el de placa tectónica, la dorsal oceánica, los sistemas de fallas transformantes, las fosas oceánicas, los arcos de islas, y otros

más. Se pueden explicar, además, hechos como la distribución de la sismicidad terrestre en todo el planeta, la distribución de la actividad volcánica, la génesis y emplazamiento de las cadenas de montañas, entre otros hechos fundamentales del conocimiento científico-geológico. Estos nuevos conocimientos revolucionarios se debieron al trabajo e investigación de una gran cantidad de investigadores como H. Hess, R. Dietz, A. Holmes, J. Tuzo Wilson, F. Vine, D. Matthews, L. Morley, A. Cox, R. Doell, B. Dalrymple, L. Sykes, J. Heirtzler, W. C. Pitman, D. E. Hayes, D. McKenzie, R. Parker, W. J. Morgan, Xavier Le Pichon, J. F. Dewey, J. Sclater, J. Francheteau, S. W. Carey, entre otros.

Harry Hess (1960), propone la interpretación de los fondos marinos y la existencia de las dorsales oceánicas, recién descubiertas por los adelantos de los estudios oceanográficos, como prueba de la expansión de los fondos oceánicos y de los procesos de subducción de éstos bajo la corteza continental. Por otra parte, Vine y Matthews, estudiando las bandas de anomalías magnéticas del fondo, (investigaciones paleomagnéticas) proponen como explicación de la expansión del fondo oceánico. Se definen así, los límites de placas: divergentes, transformantes y convergentes. Seguidamente, Tuzo Wilson formaliza y sistematiza los conceptos y procesos de la mecánica de la Tectónica de placas<sup>13</sup>. La síntesis de los mecanismos de las placas tectónicas es formalizada también por J. Morgan y X. Le Pichon. Este último publica varios artículos destacando los temas sobre la expansión de fondo oceánico<sup>14</sup> y la nueva concepción tectónica terrestre<sup>15</sup>.

Una conclusión importantísima de esta revolución en Geología, es que la gran mayoría de los fenómenos geológicos, y su distribución diferencial-geográfica, sobre la faz de la Tierra, pueden ser explicados por la Tectónica de placas. Actualmente, esta teoría es el centro conceptual y epistemológico de las explicaciones de los fenómenos geológicos de la Tierra. La visión integral de la fenomenología geológica en torno a la Tectónica de placas se denomina y concibe como la moderna revolución kuhniana<sup>16</sup>, llamada Tectónica global. La revisión y verificación de esta teoría se efectúa ahora en varios ámbitos de las Ciencias de la Tierra.

## 8.- La Geología hoy, y su visión de futuro

En la segunda mitad del siglo XX y el inicio del XXI, ha tenido lugar el desarrollo acelerado de varias disciplinas y especialidades de la Geología. El desarrollo de tales disciplinas se acompaña, y es el resultado de las nuevas investigaciones y tecnologías, de los laboratorios de física experimental y química (inorgánica y orgánica del petróleo, mineralógicos, inclusiones fluidas, isótopos, petrofísica, rayos x, microscopía electrónica, etc.), de la tecnología digital e informática, la tecnología espacial, y de las tecnologías de exploración y prospección de los recursos.

Con relación a estas nuevas tecnologías, surgen en la Geología moderna varias disciplinas y metodologías de análisis y estudio en diferentes dimensiones escalares, desde la dimensión microscópica hasta las fronteras de lo megascópico y cósmico. Entre estas ciencias y tecnologías es posible mencionar, sucintamente, las siguientes:

**a.- La geocronología absoluta de los isótopos radiactivos**, diferenciando los conceptos de *edad relativa* y *edad absoluta de los procesos y objetos geológicos de toda la historia de la Tierra*; así, se diversifican y amplían los horizontes de la Bioestratigrafía, la Cronoestratigrafía, Geocronología y la Geología histórica.

**b.- El desarrollo de la Petrografía sedimentaria, ígnea y metamórfica**, así como la conceptualización de los procesos de litogénesis y de la diagénesis en los sedimentos y rocas sedimentarias y de petrogénesis ígneo-metamórfica. Con

<sup>9</sup> Seyfert, Carl K. & Leslie A. Sirkin, 1979.- *Earth History and Plate Tectonics. An Introduction to Historical Geology*. Second Edition. ISBN: 0-06-045921-2. P. 244-281.

<sup>10</sup> Uyeda, Seiya, 1980.- *La Nueva Concepción de la Tierra. Continentes y océanos en movimiento*. 1ª edición en español de The New View of the Earth, 1978. Editorial Blume, Barcelona. ISBN: 84-7031-154-9. P. 30-37

<sup>11</sup> Uyeda, Seiya, *op. cit.*, p. 35.

<sup>12</sup> Uyeda, Seiya, *op. cit.*, p. 57-148.

<sup>13</sup> Wilson, T. A., 1965.- *A New Class of Faults and Their Bearing on Continental Drift*. *Nature*, v. 207, págs. 343-347.

<sup>14</sup> Le Pichon, X., 1968.- *Sea Floor Spreading and Continental Drift*. *Journal of Geophysical Research*, v. 73, págs. 3661-3697.

<sup>15</sup> Le Pichon, X., 1970.- *La Tectonique des Plaques*. *Rev. Sc. Nat. Soc. Helvétique-Bâle*. Art. No. 27., págs. 29-35.

<sup>16</sup> Kuhn, T. S., 2004.- *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Edición: Fondo de Cultura Económica, Colección Breviarios. México.



relación a la Petrología sedimentaria y los procesos diagenéticos, son fundamentales las aportaciones de varios especialistas pioneros, particularmente las de F. Pettijohn<sup>17</sup>, Robert Folk<sup>18</sup>, Dunham<sup>19</sup> y Bathurst<sup>20</sup>.

**c.- La teoría y conceptos de la Deriva continental y la concepción de la Teoría de la Tectónica de placas**, y la subsecuente integración de la Tectónica global, paralelamente a la mejor comprensión de la Geodinámica interna y el interior del planeta. Esto constituyó hitos del genio humano durante el siglo XX.

**d.- El concepto dinámico de las cuencas sedimentarias**, constituyéndose en la Geodinámica de cuencas sedimentarias y su complementación cualitativa y cuantitativa en el Análisis de cuencas, integrando el análisis de la subsidencia-elevación, el análisis geohistórico y la dinámica eustática.

**e.- La madurez de la Estratigrafía**, ciencia madre, evoluciona hacia las disciplinas del Análisis secuencial. En paralelo, el rápido desarrollo de los conceptos en torno al Análisis secuencial (Krumbein y Sloss<sup>21</sup>, así como Lombard y Delfaud<sup>22</sup>), en los procesos sedimentarios y su reflejo en el registro estratigráfico. Seguidamente, *el desarrollo de la Sismoestratigrafía, como resultado de los adelantos tecnológicos de la ingeniería sísmica y de los nuevos conceptos sobre los procesos y sistemas de depósito y la noción de la secuencialidad en el registro sedimentario.*<sup>23</sup> Y aunado a ello, el rápido desarrollo de las disciplinas de la Estratigrafía de secuencias, la Estratigrafía faciológica y de la Estratigrafía genética<sup>24</sup>. Paralelamente a estos avances, surge la especialización de la Paleontología en sus diferentes ramas de investigación y aplicaciones prácticas.

**f.- El desarrollo de la geoquímica del carbón y del petróleo**, definiendo la caracterización de la materia orgánica, el kerógeno y sus variables definitorias como el contenido orgánico total (COT), el potencial generador, los índices de madurez térmica, relaciones de transformación, reflectancia de la vitrinita, los biomarcadores, etc. En estos adelantos revolucionarios de la ciencia geológica – petrolera, las aportaciones de Tissot y Welte<sup>25</sup>, fueron fundamentales en la comprensión de los procesos de generación de hidrocarburos y de la evaluación cuantitativa de las rocas generadoras y de los sistemas y provincias petroleras.

**g.- El concepto genético del Sistema petrolero**; La evolución de las ideas y conocimientos en Geología del petróleo a través de los años y de la experiencia adquirida, han permitido pasar de los conceptos individuales de cada disciplina geológica utilizada en la exploración, a la noción de cuenca sedimentaria, y geodinámica, como entidad básica. Así fueron creados los conceptos de “*cuenca sedimentaria*”, como unidad fundamental de la corteza terrestre; y de “*geodinámica de cuencas sedimentarias*”<sup>26</sup>. Ya en la década de los años ochenta del siglo pasado, la geología del petróleo europea conceptualizó el término de “*geodinámica de cuencas sedimentarias*”, para concebir la totalidad de los fenómenos geológicos de una cuenca sedimentaria, los cuales conducen a la existencia probabilística de hidrocarburos<sup>27</sup>. Un yacimiento

es, entonces, el producto de la “lógica profunda del mecanismo y de los eventos geológicos” que han precedido su génesis<sup>28</sup>.

El sistema petrolero fue definido formalmente como un sistema natural que comprende un foco o roca generadora activa relacionada al aceite y gas, y la cual incluye todos los elementos geológicos y procesos que son esenciales para la existencia de acumulaciones comerciales de hidrocarburos. Los elementos del sistema petrolero son la roca generadora, la roca almacén, la roca de trampa – sello y el conjunto sepultado o soterrado de estratos. Los procesos geológicos del sistema petrolero son la formación de trampas petroleras y la generación, migración, acumulación<sup>29</sup> y preservación de hidrocarburos.<sup>30</sup>

**h.- En cuanto a los recursos minerales y su evolución y distribución**, se desarrollaron la Geología de los yacimientos minerales y la metalogénesis, cuyos procesos se distribuyen y correlacionan con la lógica de la fenomenología de la Tectónica global (v. gr. la génesis de los pórfidos cupríferos).

**i.- El concepto y metodología del balanceo geométrico de secciones estructurales**; es decir su construcción cualitativa y cuantitativa “racional”; y cuya lógica geométrica procede del conocimiento de la geodinámica cortical y de los movimientos horizontales de las placas tectónicas<sup>31</sup>.

**j.- El desarrollo acelerado de una gran cantidad de herramientas tecnológicas geofísicas, geoquímicas y geológicas** para el estudio e investigación de la Tierra, tanto por métodos directos como indirectos. Tal es el caso de la ingeniería sísmica (reflexión y refracción, 3D, 4D, petrofísica, etc.), la magnetometría, la gravimetría, los métodos magnetotéluricos, los registros de pozos.

**k.- El modelado, modelización y simulación numérica** aplicado en la investigación de diferentes fenómenos y procesos geológicos como: la reconstrucción geométrica equilibrada de secciones geológicas, la reconstrucción pre-tectónica y pro-tectónica, la simulación de las condiciones de maduración y transformación de la materia orgánica y la generación del kerógeno, expulsión, migración, entrapamiento y preservación de hidrocarburos, por ejemplo. En Geología, un modelo es una representación esquemática de un proceso o fenómeno que permite substituir un sistema más simple respecto al sistema natural, y controlando sus variables o parámetros implicados. La construcción de softwares actualmente ha permitido llevar a cabo una gran cantidad de investigaciones en diferentes disciplinas y campos de investigación geológica y de aplicación en la ingeniería geológica.

**l.- En el desarrollo de la tecnología espacial**, se puede constatar el enorme incremento de los datos e información que ha podido ser asequible y accesible sobre la superficie del planeta. Particularmente en la Geología y las ciencias afines a ésta: como la Geología estructural, Tectónica, Exploración petrolera, Prospección minera, Estratigrafía, Geomorfología, Impacto ambiental, Riesgos naturales, etcétera. Esta misma revolución tecnológica, en tales herramientas, ha hecho posible el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para el manejo y almacenamiento de datos e información geológica ingente y variada, tanto en los ámbitos planetario, continental, regional y local. Las imágenes de la superficie de la Tierra, adquiridas desde las plataformas satelitales, ha permitido la realización de una gran cantidad de investigaciones a escala regional y continental. Asimismo, en la actualidad ha sido posible llevar a cabo el seguimiento, en tiempo real, de la dinámica climática, ecológica, de riesgos naturales y de fenómenos geológicos en todos los sitios del planeta.

<sup>17</sup> Pettijohn, F. J., 1957.- *Sedimentary rocks*. Harper & Brothers, New York, 718 p.

<sup>18</sup> Folk, R. L., 1959.- *Practical petrographic classification of limestones*. Bull. Amer.Assoc. Petrol. Geol., 43, 1, 1-38.

<sup>19</sup> Dunham, R. J., *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. Classification of carbonate rocks, a symposium. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Mem. 1, p- 108-121.

<sup>20</sup> Bathurst, R. G. C., 1972.- *Carbonate sediments and their diagenesis*. Elsevier, Amsterdam, 620 p.

<sup>21</sup> Krumbein, W. C. & Sloss, L. L., 1963.- *Stratigraphy and Sedimentation*. Sec. Edition. H. Freeman and Co., San Francisco.

<sup>22</sup> Lombard, A., 1972.- *Séries Sédimentaires. Genèse-Évolution*. Masson et Cie. Éditeurs. Paris, France. P. 200-206.

<sup>23</sup> Vail, P. R. *et al.*, 1977.- *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level*. In Payton, Charles E., 1977.- *Seismic Stratigraphy –Applications to Hydrocarbon Exploration*. Memoir 26, American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma, U. S. A., p. 49-205.

<sup>24</sup> Homewood, P., Guillocheau, F., Eschard, R. & Cross, T. A., 1992.- *Corrélation haute resolution et stratigraphie génétique: une démarche intégrée*. Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, 16, 2, 357-381.

<sup>25</sup> Tissot, B. P. & Welte, D. H., 1978.- *Petroleum Formation and Occurrence, A New Approach to Oil and Gas Exploration*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.

<sup>26</sup> Perrodon, A., 1966.- *Géologie du pétrole*. Presses Univ. France, Paris, 440 p.

<sup>27</sup> Perrodon, A., 1980.- *Géodynamique pétrolière. Genèse et répartition de gisements d'hydrocarbures*. Masson, Paris.

<sup>28</sup> Perrodon, A., *op. cit.*, 440 p.

<sup>29</sup> L. B. Magoon and W. G. Dow, 1994.- *The petroleum system. The Petroleum System – from Source to Trap*, AAPG Memoir 60., p. 3 – 24.

<sup>30</sup> Ortuño Arzate, Salvador, 2009.- *El mundo del petróleo. Origen, usos y escenarios*. FCE, SEP, CONACyT. Colec. La Ciencia para Todos: 224. 212 p.

<sup>31</sup> Dahlstrom, C. D. A., 1969.- *Balanced cross sections*. Can. J. Earth. Sci., 6, p.332-406.

**m.- La Geología ambiental**, que ha nacido en el seno del conocimiento de la Geología, para el estudio y la protección integral de nuestro planeta y que permite integrar todas las esferas de la Tierra en un solo sistema dinámico de compleja interacción, entre el interior del planeta, la geósfera, la hidrósfera y la atmósfera que contienen e interactúan con la biosfera. Y, pensando en un ego responsable, la noosfera, o sea, la acción inteligente y protectora del ser humano hacia su casa ecológica (el *oikos lógos* griego: *οίκος λόγος*).

**n.- Finalmente, la Geología planetaria, o Planetología**, es la Geología que ha extendido su poder de investigación y exploración hacia los satélites naturales y los planetas del sistema solar. Así, la Tierra, siendo el asiento de la historia humana, se convierte en problema científico y epistemológico a resolver, y de manera paralela, hacia el origen y evolución del sistema solar y del Universo en su totalidad. La Geología y la Cosmología se unen en la búsqueda común de los anhelos humanos: conocer su hogar local y su morada universal en el tiempo y el espacio.

En fin, en este tiempo de la postmodernidad científica, la comprensión integral del planeta llega a constituirse en la ciencia geológica que debe escudriñar la complejidad del mundo, del κόσμος que nos rodea, el cual es multifactorial y polisémico en todas sus escalas y manifestaciones. Por tanto, la Geología ha devenido en las ciencias de la integralidad contemplativa y analítica, es decir, en las nuevas Ciencias de la Tierra. Siendo la Tierra un sistema complejo, su estudio se debe abordar en su integralidad y en la dinámica de sus subsistemas y elementos que la constituyen. Por ello, la visión epistemológica en las Ciencias de la Tierra tiende a adoptar el enfoque del indeterminismo, como actitud científica compatible con el avance del conocimiento del mundo; adicionalmente, la visión determinista es la actitud científica inherente con la descripción del mundo<sup>32</sup>. La Geología es una ciencia por la aprehensión del mundo, su conocimiento *per se*; y como ciencia esencialmente histórica, también describe e interpreta el mundo.

Así, la Geología, a través de los siglos, ha llegado a ser la ciencia de la comprensión de la totalidad sistémica, de la integralidad del sistema Tierra. Escudriñando desde lo minúsculo, hasta la aprehensión de lo infinito. La Geología posee el mérito de haber descubierto el tiempo profundo y haberlo otorgado al pensamiento científico y filosófico, ampliando maravillosamente las nociones del pasado histórico humano y del futuro infinito. Las ciencias de la Tierra contemplan el devenir del planeta, y de la humanidad, con una entusiasta visión de futuro.

La Tierra es esa esfera, objeto celeste paradigmático, que encierra los tres misterios ontológicos y fundamentales para la filosofía y para todas las ciencias humanas: el origen de la materia (la Tierra y el Universo), el origen de la vida y el origen del ser humano. “*Beréshit bara Elohim...*” (“En el principio Elohim creó...”); contundente exclamación del Génesis mosaico, enunciando el enigma de estos tres insondables misterios universales.

Asimismo, Pierre Termier (1859-1930), gran geólogo francés, expresa el problema fundamental del hombre: “*Il est de l'essence même de notre science, la Géologie, de nous rappeler à chacune des pages de son livre, le Temps, la Vie, la Mort... Ce sont là, les trois mots magiques qui font frémir les hommes et qu'ils ne peuvent pas ne pas écouter; c'est le trépied sur lequel repose toute leur philosophie.*” (Es la esencia misma de nuestra ciencia, la Geología, el recordarnos, en cada una de las páginas de su libro, el Tiempo, la Vida, la Muerte...Éstas son las tres palabras mágicas que hacen temblar a los hombres y que no pueden evitar escuchar; es la trilogía sobre la cual reposa toda su filosofía.”). Fuente: Vernet, D., 1983.- *L'homme face à l'avenir et à sa destinée*.

### Finalizamos, por ahora, y expresamos con Pierre Termier:

“Al cerrar una lectura sobre Geología, siempre hay que hacerlo con humildad. En la nave TIERRA que nos transporta por la inmensidad hacia una meta final que sólo Elohim conoce; nosotros sólo somos pasajeros de proa. Somos emigrantes

<sup>32</sup> Wagensberg, J., 1997.- *L'ame de la méduse, Idées sur la complexité du monde*. Éditions du Seuil. 171 p.

que conocen su propio infortunio. Los menos ignorantes entre nosotros, los más osados, los más impacientes, interrogamos nuestros propios problemas; demandamos cuándo comenzó el viaje de la humanidad, cuánto tiempo durará, cómo navega el barco, por qué vibran su cubierta y el casco; por qué a veces los sonidos provienen de la bodega y se extinguen por la escotilla; nosotros preguntamos qué secretos se ocultan en las profundidades de esta extraña nave, y sufrimos porque nunca lo sabremos. Usted y yo somos del grupo de los impacientes y osados que desean saber y que nunca quedan satisfechos con cualquier respuesta. Nos mantenemos unidos en la proa del barco atentos a todas las indicaciones que provengan del interior misterioso, o del monótono mar, o todavía, del aún más monótono cielo. Nos confortamos unos a otros hablando de la costa hacia la cual creemos devotamente que navegamos, o a la que en realidad llegaremos y desembarcaremos, quizás mañana. Es una costa que ninguno de nosotros ha visto nunca, pero que la reconoceríamos sin titubeos cuando apareciera en el horizonte. Es la costa del país de nuestros sueños, donde el aire es tan puro, que no existe la muerte, es el país de nuestros deseos y su nombre es la Verdad.”

### Salvador Ortuño Arzate, Semblanza sucinta

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

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

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

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



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

### Descripción de las pinturas

La concepción del espacio y su inmensidad representan la experiencia vivencial e íntima del ser humano. Inmensidad que deviene categoría ontológica del ensueño. Esta grandeza del mundo-cosmos, es la fuerza e inspiración de la esencia creativa del hombre.

El autor, que ha recorrido los senderos de la insondable fenomenología geológica de la inmensidad del paisaje, discierne el goce estético a través de las imágenes del escenario montañoso, del enigmático bosque y de los apartados remansos de la meditación y del ensueño.



Reproducción de la "Hacienda de Chimalapa", de José María Velasco; Puebla, México.



Atardecer en la Toscana, Italia.

# Celebración de la Tierra

Abril 22, 2021

<https://www.nasa.gov/earth-day-2021>

<https://www.epa.gov/earthday>

<https://www.nature.org/en-us/get-involved/how-to-help/earth-day/>

<https://www.un.org/en/observances/earth-day>

<https://www.almanac.com/content/earth-day-date-activities-history>



Imagen de la Tierra desde la Luna (Fuente: NASA).





# IV Congreso Guatemalteco de Geociencias Ambientales

Ciclo de Conferencias Virtuales

## 1ª. CIRCULAR "Construyendo un país resiliente"

Noviembre/2021  
**22-26**

### Ejes temáticos:

- Hidrogeología
- Riesgos Geológicos
- Exploración Geológica
- Geofísica Aplicada

### FECHAS IMPORTANTES:

**Abril 9:** apertura del pre-registro de participantes para el evento e invitación para envío de trabajos de investigación. Envío de formato para redacción de resúmenes.

**Septiembre 30:** fecha límite para el envío de resúmenes de investigación.

**Noviembre 22:** bienvenida a los participantes e inicio del congreso.

**Noviembre 23 – 26:** Sesiones científicas

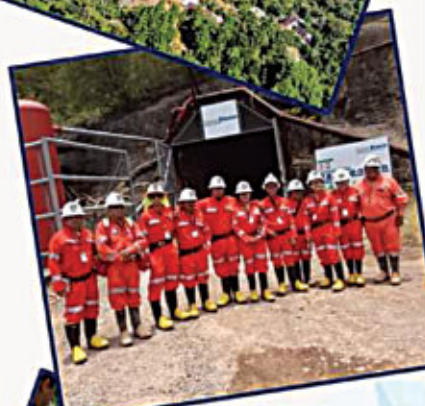
### Organiza:



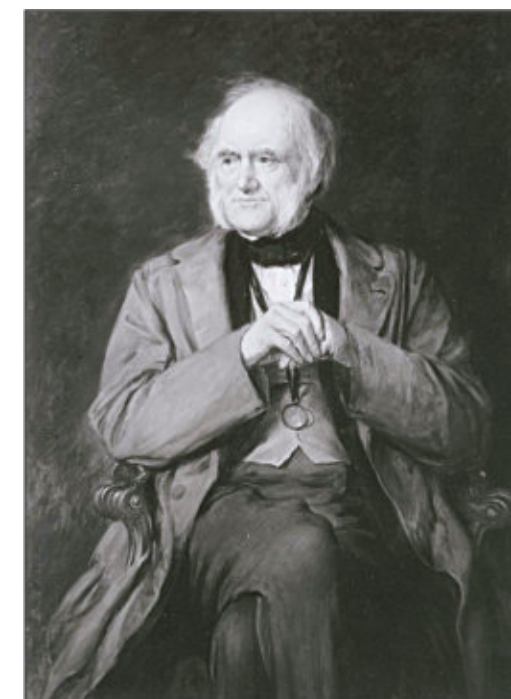
Carrera Geología, CUNOR-USAC  
GeocienciasGuatemalaA&G



geologiacunorusac.com



# FOUNDERS OF MODERN GEOLOGY



## Charles Lyell, in full Sir Charles Lyell, Baronet

(born November 14, 1797, Kinnordy, Forfarshire, Scotland—died February 22, 1875, London).

Scottish geologist largely responsible for the general acceptance of the view that all features of the Earth's surface are produced by physical, chemical, and biological processes through long periods of geological time. The concept was called uniformitarianism (initially set forth by James Hutton). Lyell's achievements laid the foundations for evolutionary biology as well as for an understanding of the Earth's development. He was knighted in 1848 and made a baronet in 1864.

### Life

Lyell was born at Kinnordy, the stately family home at the foot of the Grampian Mountains in eastern Scotland. His principal childhood associations, however, were with the New Forest near Southampton, England, where his parents moved before he was two years old. His father, a naturalist who later turned to more literary pursuits, kept the study well stocked with books on every subject, including geology. The eldest of 10 children, Charles attended a series of private schools, where he was not a particularly diligent student; he much preferred rambles in the New Forest and his father's instruction at home to those places, with their schoolboy pranks and pecking orders whose spirit he never really shared. His first scientific hobby was collecting butterflies and aquatic insects, an activity pursued intensively for some years, even though labeled unmanly by local residents. His observations went far beyond those of

any ordinary boy, and later this instinct for collecting and comparing led to important discoveries. At 19 Lyell entered Oxford University, where his interest in classics, mathematics, and geology was stimulated, the latter by the enthusiastic lectures of William Buckland, later widely known for his attempt to prove Noah's Flood by studies of fossils from cave deposits. Lyell spent the long vacations between terms traveling and conducting geological studies. Notes made in 1817 on the origin of the Yarmouth lowlands clearly foreshadow his later work. The penetrating geological and cultural observations Lyell made while on a continental tour with his family in 1818 were as remarkable as the number of miles he walked in a day. In December 1819 he earned a B.A. with honors and moved to London to study law.

### Career

Lyell's eyes were weakened by hard law study, and he sought and found relief by spending much time on geological work outdoors. Among these holidays was a visit to Sussex in 1822 to see evidence of vertical movements of the Earth's crust. In 1823, on a visit to Paris, he met the renowned naturalists Alexander von Humboldt and Georges Cuvier and examined the Paris Basin with the French geologist Louis-Constant Prévost. In 1824 Lyell studied sediments forming in freshwater lakes near Kinnordy. When in London, Lyell participated in its vigorous intellectual life, meeting such literati as Sir Walter Scott and taking active part in several scientific societies.

### New Approach To Geology



Prodded to finish his law studies, Lyell was admitted to the bar in 1825, but with his father's financial support he practiced geology more than law, publishing his first scientific papers that year. Lyell was rapidly developing new principles of reasoning in geology and began to plan a book which would stress that there are natural (as opposed to supernatural) explanations for all geologic phenomena, that the ordinary natural processes of today and their products do not differ in kind or magnitude from those of the past, and that the Earth must therefore be very ancient because these everyday processes work so slowly. With the ambitious young geologist Roderick Murchison, he explored districts in France and Italy where proof of his principles could be sought. From northern Italy Lyell went south alone to Sicily. Poor roads and accommodations made travel difficult, but in the region around Mount Etna he found striking confirmation of his belief in the adequacy of natural causes to explain the features of the Earth and in the great antiquity even of such a recent feature as Etna itself.

The results of this trip, which lasted from May 1828 until February 1829, far exceeded Lyell's expectations. Returning to London, he set to work immediately on his book, *Principles of Geology*, the first volume of which was published in July 1830. A reader today may wonder why this book filled with facts purports to deal with principles. Lyell had to teach his principles through masses of facts and examples because in 1830 his method of scientific inquiry was novel and even mildly heretical. A remark of Charles Darwin shows how brilliantly Lyell succeeded: "The very first place which I examined . . . showed me clearly the wonderful superiority of Lyell's manner of treating geology, compared with that of any other author, whose work I had with me or ever afterwards read."

During the summer of 1830 Lyell traveled through the geologically complex Pyrenees to Spain, where the closed, repressed society both fascinated and repelled him. Returning to France, he was astonished to find King Charles X dethroned, the tricolor everywhere, and geologists able to talk only of politics. Back in London he set to work again on the *Principles of Geology*, finishing Volume II in December 1831 and the third and final volume in April 1833. His steady work was relieved by occasional social or scientific gatherings and a trip to a volcanic district in Germany close to the home of his sweetheart, Mary Horner, in Bonn, whom he married in July 1832, taking a long honeymoon and geological excursion in Switzerland and Italy. Mary, whose father had geological leanings, shared Charles's interests. For 40 years she was his closest companion; the happiness of their marriage increased because of her ability to participate in his work.

During the next eight years the Lyells led a quiet life. Winters were devoted to study, scientific and social activities, and

revision of *Principles of Geology*, which sold so well that new editions were frequently required. Data for the new editions were gathered during summer travels, including two visits to Scandinavia in 1834 and 1837. In 1832 and 1833 Lyell delivered well-received lectures at King's College, London, afterward resigning the professorship as too time-consuming.

### Scientific Eminence

Publication of the *Principles of Geology* placed him among the recognized leaders of his field, compelling him to devote more time to scientific affairs. During these years he gained the friendship of men like Darwin and the astronomer Sir John Herschel. In 1838 Lyell's *Elements of Geology* was published; it described European rocks and fossils from the most recent, Lyell's specialty, to the oldest then known. Like the *Principles of Geology*, this well-illustrated work was periodically enlarged and updated.

In 1841 Lyell accepted an invitation to lecture and travel for a year in North America, returning again for nine months in 1845–46 and for two short visits in the 1850s. During their travels, the Lyells visited nearly every part of the United States east of the Mississippi River and much of eastern Canada, seeing almost all of the important geological "monuments" along the way, including Niagara Falls. Lyell was amazed at the comparative ease of travel, although they saw many places newly claimed from the wilderness. A veteran of coach and sail days, Lyell often praised the speed and comfort of the new railroads and steamships. Lyell's lectures at the Lowell Institute in Boston attracted thousands of people of both sexes and every social station. Lyell wrote enthusiastic and informative books, in 1845 and 1849, about each of his two long visits to the New World. Unlike the majority of well-off Victorians, Lyell was a vocal supporter of the Union cause in the American Civil War. Familiar with both North and South, he admired the bravery and military skill of the South but believed in the necessity and inevitability of a Northern victory.

In the 1840s Lyell became more widely known outside the scientific community, socializing with Lord John Russell, a leading Whig; Sir Robert Peel, founder of Scotland Yard; and Thomas Macaulay, the historian of England. In 1848 Lyell was knighted for his scientific achievements, beginning a long and friendly acquaintance with the royal family. He studied the prevention of mine disasters with the English physicist Michael Faraday in 1844, served as a commissioner for the Great Exhibition in 1851–52, and in the same year helped to begin educational reform at Oxford University—he had long objected to church domination of British colleges. Lyell's professional reputation continued to grow; during his lifetime he received many awards and honorary degrees, including, in 1858, the Copley Medal, the highest award of the Royal Society of London; and he was many

times president of various scientific societies or functions. Expanding reputation and responsibilities brought no letup in his geological explorations. With Mary, he traveled in Europe or Britain practically every summer, visiting Madeira in the winter of 1854 to study the origin of the island itself and of its curious fauna and flora. Lyell especially liked to visit young geologists, from whom he felt "old stagers" had much to learn. After exhaustive restudy carried out on mule back in 1858, he proved conclusively that Mount Etna had been built up by repeated small eruptions rather than by a cataclysmic upheaval as some geologists still insisted. He wrote Mary that "a good mule is like presenting an old geologist with a young pair of legs."

In 1859 publication of Darwin's *Origin of Species* gave new impetus to Lyell's work. Although Darwin drew heavily on Lyell's *Principles of Geology* both for style and content, Lyell had never shared his protégé's belief in evolution. But reading the *Origin of Species* triggered studies that culminated in publication of *The Geological Evidence of the Antiquity of Man* in 1863, in which Lyell tentatively accepted evolution by natural selection. Only during completion of a major revision of the *Principles of Geology* in 1865 did he fully adopt Darwin's conclusions, however, adding powerful arguments of his own that won new adherents to Darwin's theory. Why Lyell was hesitant in accepting Darwinism is best explained by Darwin himself: "Considering his age, his former views, and position in society, I think his action has been heroic."

After 1865 Lyell's activities became more restricted as his strength waned, although he never entirely gave up outdoor geology. His wife, 12 years his junior, died unexpectedly in 1873 after a short illness, leaving Lyell to write, "I Endeavour by daily work at my favorite science, to forget as far as possible the dreadful change which this has made in my existence." He died in 1875, while revising his *Principles of Geology* for its 12th edition, and was buried in Westminster Abbey.

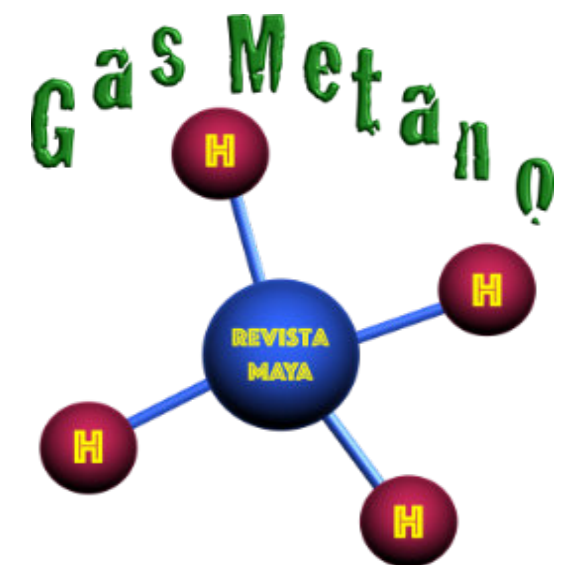
### Legacy

Lyell typified his times in beginning as an amateur geologist and becoming a professional by study and experience. Unlike most geologists then and now, however, he never considered observations and collections as ends in themselves but used them to build and test theories. The *Principles of geology* opened up new vistas of time and change for the younger group of scientists around Darwin. Only after they were gone did Lyell's reputation begin to diminish, largely at the hands of critics who had not read the *Principles of Geology* as carefully as had Darwin and attributed to Darwin things he had learned from Lyell. Lyell

is still underestimated by some geologists who fail to see that the methods and principles they use every day actually originated with Lyell and were revolutionary in his era. The lasting value of Lyell's work and its importance for the modern reader are clear in Darwin's assessment:

***The great merit of the Principles was that it altered the whole tone of one's mind, and therefore that, when seeing a thing never seen by Lyell, one yet saw it partially through his eyes.***

Source: Britannica Encyclopedia  
Richard W. Macomber  
Professor of Physics, Brooklyn Campus, Long Island University,  
New York.





Aquí puedes encontrar todas las presentaciones que se realizaron en el Congreso Internacional de Geología, La Habana, Cuba.

<https://www.youtube.com/channel/UCSVtKI6gsBHO7oCB2Fu68tQ/videos>



## CBTH

Conjugate Basins, Tectonics, and Hydrocarbons

Department of Earth and Atmospheric Sciences

University of Houston

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



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

## Curiosidades de ciencias y cultura...

### El reto del caballo de ajedrez

Entre los amantes del Ajedrez es todo un reto recorrer con el caballo las 64 casillas del tablero sin repetir alguna, esto ha inspirado a muchos matemáticos. El reto consiste en recorrer las 64 casillas del tablero con un caballo, en 64 movimientos y sin pasar dos veces por la misma casilla. Hay dos opciones:

- Empezar y terminar en la misma casilla (circuito cerrado). Más complicado.
- Empezar en una casilla y terminar en otra (circuito abierto). Más "sencillo"

En el devenir de los siglos, matemáticos de todo el mundo se han interesado por este enigma. Una de las primeras soluciones conocidas data del siglo IX. En efecto, en un manuscrito del árabe Abu Zakariya Yahya ben Ibrahim al-Hakim se encuentran documentados dos recorridos válidos. Uno de ellos pertenece a un jugador de ajedrez llamado Ali C. Mani y el otro a Al-Adli ar-Rumi, un aficionado del que se sabe también escribió un libro sobre una forma de ajedrez popular por esa época llamado "Shatranj".

Hacia mediados del siglo XVIII entre los círculos matemáticos europeos, este enigma tuvo un gran auge, principalmente por el enorme número de soluciones posibles. El trabajo más importante en relación a este problema se atribuye al genial Leonhard Euler, que destacó por sus ingeniosas y fantásticas soluciones. Una de las soluciones que dio este genio matemático asombró por su belleza. Euler construyó un "cuadrado mágico" donde las filas y las columnas sumaban 260. El caballo se desplaza desde la casilla 1 hasta la 64 en orden numérico. El desarrollo de la marcha del caballo es bastante complicado, como para incluso que no se pueda tocar una casilla 2 veces. Encontrar una solución simplemente moviendo el caballo "al tanteo" es imposible. Pocos han sido capaces de encontrar un método que facilitase el proceso.

Siempre ayuda dividir un problema en pequeñas partes. Una buena estrategia inicial sería dividir el tablero en pequeñas porciones. Hay que tener claro que recorridos son posibles y enlazarlos hasta completar el tablero. No existe consenso acerca del número total de soluciones posibles. Pero, gracias a la ayuda de los ordenadores, en 1995 Löbbing y Wegener pusieron a trabajar a 20 ordenadores para calcular posibles variantes para el paseo del caballo sin repetir ninguna casilla y obtuvieron una cifra de 33, 439, 123, 484, 294. ¡Más de 33 billones de soluciones posibles! ¿Cuántos siglos harían falta para probarlas todas?

Dos años más tarde, en 1997, Brendan McKay encaró el problema del caballo dividiendo el tablero en dos mitades y llegó a un resultado algo menor: "sólo" existirían 13, 267, 364, 410, 532 recorridos posibles. Para tener una idea de lo que significan estos números, basta saber que, si un robot fuese capaz de mover el caballo para que complete un recorrido por segundo, demoraría más de 420 años en probarlos a todos.

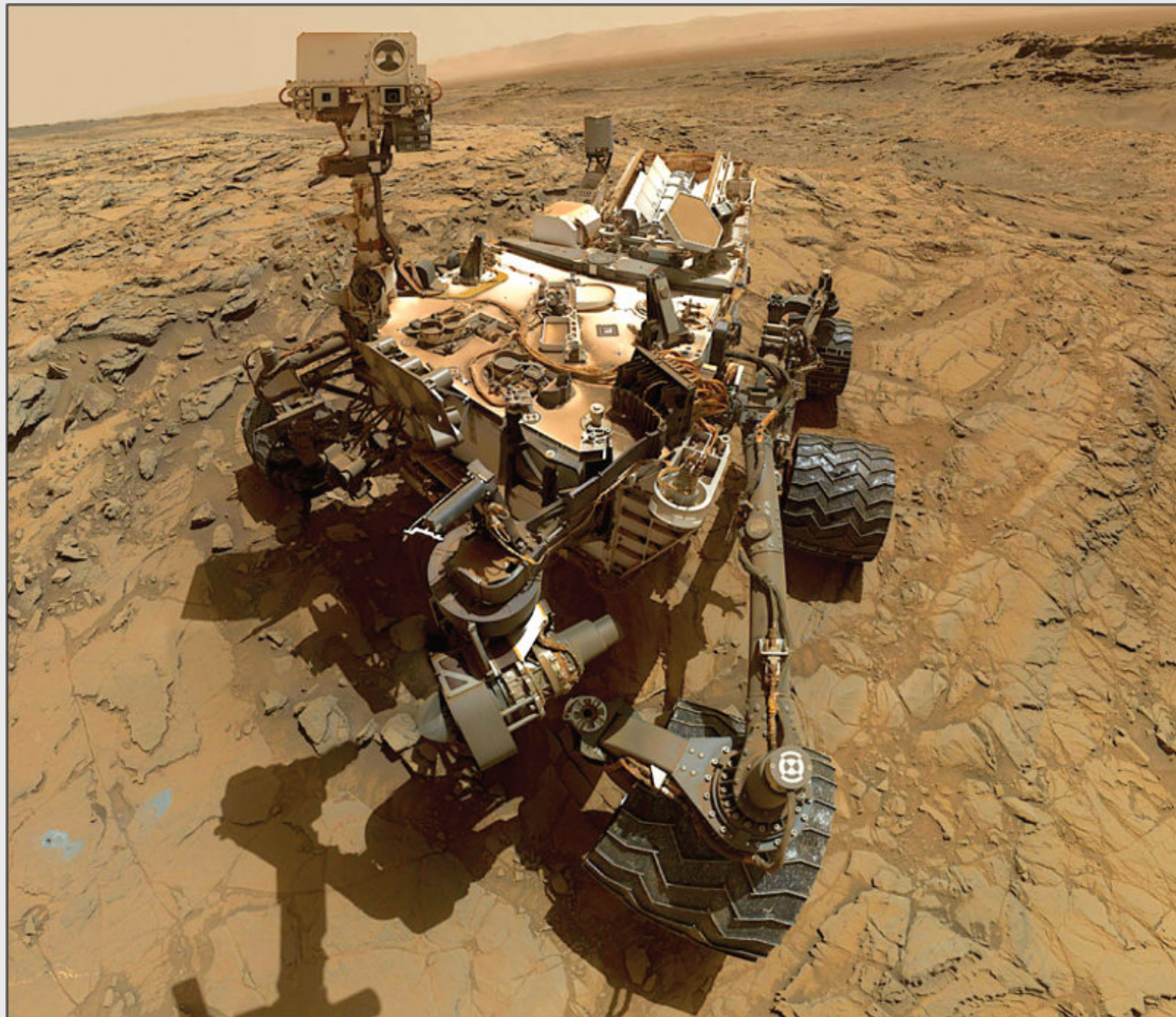
¿Qué utilidad tiene para un jugador de ajedrez conocer estos recorridos? Muy poca. Pero esta clase de desafíos han impulsado a muchos aficionados o matemáticos a encarar problemas que finalmente suelen tener alguna aplicación práctica a la hora de encontrar rutas óptimas que pasen por un determinado número de lugares o que permitan -por ejemplo- ahorrar tiempo o combustible. Como sea, el Problema del caballo ha logrado mantener interesados a los matemáticos durante siglos, y todo parece indicar que lo seguirá haciendo durante mucho tiempo.





**“LOS GRANDES ESPÍRITUS SIEMPRE HAN ENCONTRADO UNA VIOLENTA OPOSICIÓN DE PARTE DE MENTES MEDIOCRES”**

**EINSTEIN**



**Invitamos cordialmente a todos los colegas de geociencias de cualquier país de las Américas, para que participen activamente en esta nueva revista.**

## **REVISTA MAYA DE GEOCIENCIAS**

**TODO TIPO DE INFORMACIÓN ES BIENVENIDA**

Manuscritos para la sección de notas geológicas

Fotografías de afloramientos

Semblanzas y Memorandas

Congresos y eventos de geología

Información sobre becas

Recomendación de libros

Tesis y disertaciones recientes

Tecnología y software geológico

Cursos, especialidades

Viajes de campo

**EDITORES**

**Luis Angel Valencia Flores**

**luis.valencia.11@outlook.com**

**Bernardo García-Amador**

**bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu**

**Claudio Bartolini**

**bartolini.claudio@gmail.com**

**TAMBIÉN ESTAS INVITADO A SER PARTE DE NUESTRO GRUPO**

**DE FACEBOOK: MEXICO PETROLEUM GEOSCIENCE**

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