



Bosquejo sobre la evolución de la Geología en México (1904-2004)

Enrique González-Torres

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, D.F., 04510
eagtgaia@geologia.unam.mx

Resumen

La evolución de la Geología como ciencia en México durante el último siglo ha sido un proceso complejo en el que han incidido diversos tipos de variables, de las que se reconocen principalmente tres categorías: las de orden económico-político-social, las relativas a la propia evolución que han tenido las ciencias geológicas durante este tiempo y las variables inherentes al registro geológico de México.

En forma general, en el presente trabajo se han integrado seis períodos en los que se reconocen rasgos distintivos en la evolución de la geología en México; dichas divisiones son establecidas para facilitar el análisis de la dinámica de su historia. Dichos períodos son: i) 1904-1909: La raíces de la geología moderna, ii) 1910-1928: Período de receso, iii) 1929-1955: La transición gradual, iv) 1956-1975: El preludio del nuevo resurgimiento, v) 1976-1991: La revaloración de la geología de México en el marco de la teoría de la tectónica de placas y vi) 1992-2004: Las grandes integraciones.

A pesar de la importancia estratégica que debió tener la geología en México durante el último siglo debido, entre otras cosas, a los grandes recursos minerales y petroleros con que cuenta el país, se advierte que en general las políticas gubernamentales para impulsar su desarrollo han sido poco consistentes. Las pocas acciones que se han implementado por parte del Estado tienen una visión muy limitada, en función principalmente de variables de tipo económico, que en ocasiones han obstaculizado su evolución. El principal impulso a la geología en México durante los últimos cien años procede en su mayor parte de las instituciones de tipo académico-científicas, aunque su crecimiento ha sido incipiente con respecto al desarrollo de otras disciplinas.

Palabras clave: Historia de la Geología, México.

Abstract

In the last century the evolution of the science of Geology in Mexico has been a complex process influenced by different factors that can be grouped into three categories: those of an economic-political-social nature, those related directly to the evolution of the geological sciences during this period, and those variables inherent to the geological record of Mexico.

This work has, in a general way, defined six periods in the evolution of geology in Mexico for which distinctive features are recognized. Those periods are: i) 1904-1909: The founding of modern geology, ii) 1910-1928: An interruption, iii) 1929-1955: The gradual transition, iv) 1956-1975: The prelude to a rebirth, v) 1976-1991: The reevaluation of geology in Mexico in the framework of the theory of plate tectonics, and vi) 1992-2004: The great integration of information.

In spite of the strategic importance that geology should have had in Mexico in the last century due to, among other things, the vast mineral and petroleum resources, it should be mentioned that in general the government policies for promoting development have been inconsistent. The few actions that have been implemented by the government have had a very limited vision based principally on economic factors which have, on occasions, obstructed its evolution. It has mainly been the academic-scientific institutions that have been responsible for the advancement of geology during the last one hundred years, even though the development of this science is in an initial stage with respect to other disciplines.

Key words: History of Geology, Mexico.

1. Introducción

El objetivo central de este trabajo es reseñar algunos de los eventos más significativos que han incidido en el desarrollo de la Geología en México. Se pretenden establecer algunas de las características más sobresalientes en la evolución del conocimiento que se tiene sobre esta disciplina en nuestro país durante el último siglo. Sin duda alguna, dicho ejercicio enfrenta un gran espectro de dificultades que varían desde la amplitud del tema, lo complejo que puede resultar una adecuada selección y la prioridad asignada a los temas que se abordan.

El sintetizar y analizar un gran volumen de información lleva también intrínseco el riesgo de omitir varios aspectos importantes de la historia que se desea bosquejar, situación en la que seguramente he incurrido. No obstante lo anterior, se considera importante realizar el intento de esbozar algunos de los rasgos centrales de la evolución del conocimiento de la geología en México que contribuya a proporcionar al lector una visión general de este tema, así como servir de marco de referencia a futuros estudios que presenten el rigor histórico requerido por el tema.

1. 1. Antecedentes

Se han elaborado varios trabajos que revisan y discuten diversos aspectos históricos sobre el desarrollo de la geología en México, destacan los realizados por De Cserna (1989, 1990). En el primer caso, se establece en forma introductoria a un artículo sobre los rasgos de la geología de México, una breve reseña de los trabajos que han ido conformando nuestro conocimiento sobre este tema, en tanto que el segundo constituye un riguroso y detallado análisis de la evolución de la geología en nuestro país desde ~1500 hasta 1929. Otro trabajo importante, es el de Morán-Zenteno y Lomnitz (2000) quienes analizan el desarrollo de las ciencias de la Tierra en México principalmente durante el siglo pasado, así como algunos de sus desafíos inmediatos. Cabe observar, que los trabajos anteriores muestran una visión integral de la evolución de la geología en México; sin embargo, también se han realizado trabajos sobre la vida y obra de personajes que muestran además el entorno del desarrollo geológico de nuestro país en las respectivas épocas (Rubinovich-Kogan *et al.*, 1991, 1998), o sobre

aspectos específicos de algunas ramas vinculadas a la geología, como son la exploración de petróleo o la evolución de la minería en México (De Goyler, 1952; Lizalde-Chávez, 1994) por citar sólo algunos. Morán-Zenteno *et al.* (2003) realizan un análisis del estado actual y prospectiva de las geociencias en México. Asimismo, son de señalar las cronologías geológico-mineras que realizó Enciso de la Vega (1980), donde se enlistan eventos vinculados a la historia de las ciencias de la Tierra en México y la contribución a la historia de la geología en México realizada por López-Ramos (1993), en donde se revisan aspectos generales del tema por rama de aplicación.

2. Aspectos generales

Al analizar la evolución de la geología en México se advierte que su desarrollo está vinculado a la interacción de factores de diferente naturaleza, los cuales, en el presente trabajo, se han agrupado en forma general en las tres categorías siguientes: el primer tipo se integra por aspectos de orden histórico-económico y social. La importancia social de este entorno ha sido expresada en forma precisa por Knoll (2003), quien señala que “la ciencia es una empresa eminentemente social, nuestras concepciones del mundo evolucionan con la lectura de la obra de quienes vinieron antes, con la docencia y el aprendizaje, con la colaboración, la conversación y el debate”. Sin duda alguna, es necesario analizar la evolución de la ciencia en las circunstancias históricas y sociales. En este tipo de factores se integran también, en forma relevante, la influencia de determinadas corrientes de pensamiento en ciertos intervalos de tiempo, así como la influencia de líderes científicos, que de acuerdo con Hallam (1983) pueden ser de dos tipos, los que generan ideas y los que encuentran fallos a esas ideas.

El segundo tipo son los correspondientes a los avances científicos que la geología ha experimentado a lo largo del tiempo, es decir, la evolución de las nuevas concepciones científicas que se tienen sobre la Tierra. En este sentido, es importante considerar que dentro del periodo de tiempo analizado, las ciencias de la Tierra en los años 60 se caracterizaron por tener una de las grandes revoluciones científicas. En el sentido que establece Kuhn (1986) “cada revolución científica modifica la perspectiva histórica de la comunidad que la experimenta”.

En forma paralela al factor anterior, el desarrollo de la tecnología ha jugado un papel importante, entre otras cosas, ha sido promotora de la infraestructura necesaria para un conocimiento más preciso de los procesos geológicos. El espectro de incidencia es muy amplio y va desde instrumental analítico de alta precisión, hasta bases cartográficas de alta calidad por citar un par de ejemplos. No obstante, es de resaltar que el trabajo de campo sigue siendo la pieza medular del trabajo geológico, aún cuando se han modificado las condiciones de su ejecución.

El tercer tipo de factor es el intrínseco a la naturaleza del escenario geológico de México, el cual en algunos casos favorece o no el desarrollo de cierto tipo de actividad científica. Bajo este contexto, también se observa que algunos sucesos geológicos particulares han contribuido al desarrollo de ciertas áreas del conocimiento geológico, por ejemplo, los eventos de actividad volcánica durante el último siglo han favorecido el trabajo científico sobre dichos temas. Otro de los varios ejemplos sería el sismo de 1985, que constituyó un impulsor en el desarrollo del estudio de sistemas de fallas activas.

En forma general, la integración de los factores señalados constituye el escenario en el cual ha evolucionado la geología en México. Este bosquejo pretende establecer algunas de las interacciones de los factores antes citados, a fin de tener una visión más integral y no sólo el enlistar una serie de sucesos en forma cronológica. De acuerdo con Kuhn (*op. cit.*), el desarrollo de las ciencias es un proceso gradual mediante el cual los conceptos han sido añadidos, solos y en combinación. En este sentido, se intenta relatar y registrar esos incrementos sucesivos en el conocimiento geológico de México y referir algunos de los obstáculos que han inhibido su acumulación.

En este análisis tienen un papel importante la influencia de la expropiación petrolera, la mexicanización o apertura del sector minero a la inversión extranjera, así como la valoración de la geología de México en el contexto de la tectónica de placas. También juega un papel relevante el hecho de contar con la cartografía topográfica del INEGI, el empleo de fotografías aéreas, el uso de sistemas de posicionamiento geográfico (GPS), así como el empleo de técnicas como la espectrometría de masas.

Un rasgo fundamental que la geología ha experimentado en los últimos cien años, es el tránsito en diferentes escalas de observación de los procesos, desde las descripciones de afloramiento y petrográficas, a escalas que oscilan entre los polos opuestos, desde gran magnitud (imágenes de satélite, modelos de elevación digital, etc.), hasta escalas de observación microscópica (difractómetros de rayos "X", microscopía electrónica, etc.), es decir, el lenguaje más sutil de los cuerpos de roca. Asimismo, se transitó de la geología "fijista" a la de la gran movilidad horizontal.

Considero importante comentar que en este ejercicio muy probablemente he omitido detalles importantes, sin embargo, como ha señalado Meyer (2004), en el trabajo del historiador, que no es precisamente mi caso, "es la propia

naturaleza de una época histórica, el factor de mayor peso en la selección y prioridad de los temas que desea abordar".

3. Periodos de la evolución de la geología en México

El presente trabajo se ha integrado en seis periodos en los que se reconocen rasgos distintivos en la adquisición del conocimiento geológico. Dichas divisiones permiten facilitar y analizar la dinámica de la historia de la geología en México. Asimismo, las etapas se delimitan por sucesos concretos, aunque regularmente los cambios entre dichas etapas no son abruptos, y muestran límites más bien de tipo transicional.

3.1. 1904-1909: La raíces del la geología moderna¹

En este episodio se integran varios eventos que proporcionaron una gran dinámica al desarrollo de la geología moderna en México. Cabe observar, que aún cuando se toma como referencia inicial el año 1904, en forma más objetiva y precisa el inicio de esta etapa bien podría prolongarse al año de 1888, cuando el Congreso de la Unión autorizó el decreto para la creación del Instituto Geológico de México, quien heredó y concluyó algunas de las tareas de su institución antecesora, la Comisión Geológica. Dichas tareas fueron la elaboración de un bosquejo geológico de México, junto con la carta geológica y minera del país (Santillán, 1940). Esas tareas centrales cristalizaron con la publicación del Bosquejo Geológico de México (Aguilera, 1896) y de la primera edición de la Carta Geológica y Minera de México escala 1:3'000,000 (Del Castillo, 1889)

En esta etapa se hereda la intensa inercia de la geología mexicana de finales del siglo XIX. De acuerdo con Morán-Zenteno y Lomnitz (2000), hay tres hechos sobresalientes que indican el dinamismo de las geociencias en México en la primera década del siglo XX: 1) el inicio de la participación de científicos profesionales en la exploración de hidrocarburos con la localización del pozo Pez No. 1, el cual fue perforado y terminado en abril de 1904 con una profundidad total de 550 m, hecho que marca el inicio de la producción petrolera comercial en México (De Cserna, 1990); 2) la fundación de la Sociedad Geológica Mexicana (SGM) en 1904; y 3) la celebración del X Congreso Geológico Internacional en la Ciudad de México en 1906, que tuvo entre otras consecuencias la preparación de 31 libros-guía de excursiones geológicas de diferentes regiones de nuestro país (De Cserna, 1990), así como la enriquecedora presencia de investigadores de diversos países.

La fundación de la Sociedad Geológica Mexicana representa un factor importante en el desarrollo de las ciencias geológicas en México. Desde antes de su fundación se ad-

¹ El término "geología moderna" se refiere a la geología posterior a Charles Lyell.

vierten elementos que han contribuido en forma significativa al desarrollo de la geología. Por ejemplo, en la circular que convoca a la integración de la SGM, se puede reconocer el interés por preservar y difundir el conocimiento geológico “... una multitud de observaciones útiles se pierden por falta de una publicación que reúna tanto artículos formales, como las noticias y observaciones aisladas...”. Es interesante señalar que en la primera sesión de la SGM, al dar la bienvenida a los socios, Aguilera (1904) establece una visión de largo plazo del conocimiento geológico: “la Sociedad Geológica Mexicana nace humilde y débil al mundo científico, pero andando el tiempo, llegará a ser obra perdurable, contando como cuenta, con el entusiasmo y buena voluntad de sus fundadores”.

Otros dos hechos relevantes, que habría que añadir a las consideraciones de Morán-Zenteno y Lomnitz (2000), son el inicio de la publicación del Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana en 1905, que junto con la publicación del primer número del Boletín del Instituto Geológico de México, publicado a partir de 1895 como Boletín de la Comisión Geológica de México, constituyen uno de los cimientos fundamentales de la evolución de la geología en México. Estas publicaciones proporcionaron contribuciones en las diversas áreas del conocimiento geológico, a través de descripciones generales sobre la estratigrafía, distritos mineros y localidades fosilíferas. Este hecho tiene un profundo significado por la preservación y difusión del conocimiento geológico.

El segundo hecho importante es la creación oficial de un Servicio Sismológico Nacional, el cual entra en operación en su Estación Sismológica Central en Tacubaya, y en las estaciones de Oaxaca y Mazatlán el 5 de septiembre de 1910. El Servicio Sismológico quedó adscrito al entonces Instituto Geológico Nacional, inició la instalación de la Red Sismológica, la cual por razones económicas y el escenario político prevaleciente redujo su plan de instalación y quedó integrada por una estación central en Tacubaya, D. F. y seis estaciones foráneas en las ciudades de Oaxaca, Mazatlán, Mérida, Guadalajara, Monterrey y Zacatecas.

No obstante el dinamismo de este periodo para las ciencias de la Tierra, el entorno político-económico fue el factor de declive de esta época, de tal forma que a partir de 1906 la crisis porfirista y de la minería tuvo graves efectos en el entorno nacional y consecuentemente preparó el camino para la culminación de esta etapa. Paradójicamente, uno de los motores de la economía del Porfiriato, como lo fue la minería, constituyó posteriormente una de las varias semillas que promovieron el movimiento revolucionario. El descenso de los precios internacionales de los metales desencadenó el cierre de muchas empresas mineras en el norte del país, el desempleo se dejó sentir alrededor de los centros mineros y con ello los disturbios sociales (Velasco *et al.*, 1988)

Esta primera etapa considerada se puede resumir como un periodo de un gran dinamismo, en la que la riqueza geológica del país permitió el nacimiento de las primeras

descripciones geológicas modernas de varias regiones, muy posiblemente el periodo que proporcionó las raíces más profundas de la geología mexicana.

3.2. 1910-1928: Periodo de receso

La situación social de México con el inicio del movimiento revolucionario en 1910 representó un importante tropiezo del desarrollo de la geología en México, entre otras cosas por las dificultades para la elaboración de trabajos geológicos y la suspensión temporal o disminución de ediciones de las publicaciones geológicas.

Por ejemplo, el Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana dejó de publicarse a partir de 1912, año en el que se publicó el volumen VIII, fue hasta 1936 en que se publicó la segunda época del Boletín, es decir fue una ausencia de 24 años. En lo relativo al Boletín del Instituto Geológico de México, sólo durante el periodo 1914-1915 dejó de publicarse, pero se registra una disminución en la edición de sus números, los cuáles en su mayor parte presentaron una tendencia a la geología aplicada. Cabe mencionar que en 1917 aparece la serie Anales del Instituto Geológico de México también con un enfoque predominantemente a la ciencia aplicada.

La dispersión de varios investigadores, desde los que partieron al extranjero, como los que se dedicaron a otras actividades, fragmentó intensamente el tejido de la investigación geológica. En forma paralela, tal vez uno de los eventos que representó uno de los tropiezos más profundos fue que el Instituto Geológico de México en 1917 fue transformado en el Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos adscrito a la Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo del Gobierno Federal. Al respecto, De Cserna (1990) señala que dicho cambio dio una marcada orientación hacia la ciencia aplicada, principalmente yacimientos minerales, petróleo y aguas subterráneas, sin considerar además, la fragmentación del espíritu de la investigación que tenía previamente.

El sello distintivo que caracterizó esta etapa fue que la actividad geológica se desarrolló en niveles bajos con respecto a la intensa dinámica del periodo anterior.

No obstante el receso de este periodo, la exploración petrolera constituyó una actividad con dinamismo, ya que se descubrieron importantes campos petroleros, entre los cuales pueden citarse: el Álamo, al norte del Río Tuxpan en 1913, y el Cerro Azul No. 4, que se perforó en 1916 y es considerado uno de los pozos petroleros más importantes del mundo por lo que se refiere a su producción total. En los estudios realizados por Bustamante también se reporta la presencia de yacimientos de petróleo al sur de la Baja California en 1920 (De Golyer, 1952)

Una serie de trabajos pioneros que proporcionaron las raíces para la Geología y Estratigrafía fueron publicados durante esta época. La primera descripción de la fisiografía de acuerdo con el esquema de provincias fisiográficas

es acreditada a Thayer (1916), el primer libro de geología de México fue publicado por Freudenberg (1921) en Berlín; también se publicaron los trabajos precursores del conocimiento de la geología del noreste de México, entre los que destacan los de Böse (1921, 1923), que aportan información sobre el Paleozoico de esa región, y que comienzan a interpretar la presencia de ciertos elementos paleogeográficos en México, como es el macizo paleozoico de Coahuila.

También fue publicada la primera carta sísmica de la República Mexicana elaborada en 1918 por el Ing. Muñoz Lumbier (De Cserna, 1990) y se marca el inicio del Catálogo de los temblores registrados en la Red Sismológica Mexicana (1923)

3.3. 1929 -1955: La transición gradual

Este periodo marca su inicio cuando el Gobierno Federal otorgó en 1929 a la Universidad Nacional su autonomía. Tres dependencias adscritas al Gobierno Federal: el Observatorio Astronómico Nacional, el Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos (DEEG) y la Dirección de Estudios Biológicos, pasaron a formar parte de la Universidad Nacional.

En el ámbito económico-político, la nacionalización de la industria petrolera representó el nuevo entorno que orientó los senderos y prioridades de la geología.

Por lo que respecta a la incorporación del DEEG a la Universidad Nacional como Instituto de Geología el 6 de noviembre de 1929, sin duda alguna tiene un profundo significado en el desarrollo de la geología, ya que se rescató al ámbito académico una de las instituciones fundamentales de la geología mexicana.

Aunque dicho suceso no repercutió en forma inmediata, propició un entorno para que posteriormente uno de los pilares de las ciencias de la Tierra creciera en un ámbito académico. Al respecto, De Cserna (2004) realiza una consideración importante relativa a que el Instituto de Geología fue, en ese tiempo, una institución universitaria de investigación científica dotada prácticamente de personal improvisado, debido a la inexistencia de geólogos, ya que la licenciatura en Geología no existía en las universidades del país, situación que perduró durante casi dos décadas.

Asimismo, el Instituto de Geología favoreció la preservación de las ciencias geológicas, la cual se llevó a cabo en los acervos bibliográficos y en el resguardo de colecciones con diversos tipos de materiales geológicos. Sin duda alguna, ésta ha sido una de las misiones que ha caracterizado a la Universidad, y que de no haberla efectuado, muy posiblemente parte del conocimiento geológico se habría perdido.

El entorno de la expropiación petrolera decretada en 1938, propició la necesidad de contar con recursos humanos especializados enfocados a continuar con la exploración petrolera. En forma previa a este suceso, se había estable-

cido la Licenciatura en Geología en 1935 en la Facultad de Ciencias, la cual en 1939 pasa a formar parte de la entonces Escuela Nacional de Ingenieros como carrera de Ingeniero Geólogo. Ese mismo año se formaron también las carreras de Ingeniero Geólogo y Petrolero en el Instituto Politécnico Nacional.

En un país con una importante riqueza minera y petrolera como lo es México, muy probablemente no se desarrollaron institutos con orientación académico-científica dedicados a las investigaciones sobre minería y el petróleo, debido a que no se proporcionó un espacio académico para el desarrollo de dichas actividades. En 1950 se funda el Consejo Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales (CDIRM), antecesor del Consejo de Recursos Minerales (CRM) y en 1965 se establece el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Éstos surgen en el ámbito gubernamental con objetivos predominantemente de tipo aplicado y bajo las políticas gubernamentales prevaletentes.

Con relación al origen del organismo antecesor al Consejo de Recursos Minerales, De Cserna (2004) señala que al inicio de la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno de los Estados Unidos de América pidió al Gobierno de México el suministro de insumos básicos para la industria militar. Debido a que México contaba con un número insuficiente de ingenieros geólogos, el Instituto de Geología, por parte de México, suscribió con la Comisión Geológica de los E.U.A. (United States Geological Survey-USGS) el Programa de Investigaciones de Minerales Estratégicos. Después de recibir el entrenamiento por parte del USGS, los ingenieros de minas mexicanos que laboraban en el Instituto de Geología recibieron recursos presupuestales de la entonces Secretaría de Economía para cubrir el desarrollo de los trabajos de campo inherentes a tal actividad.

La situación anterior perduró un par de años, ya que el Gobierno Federal estableció mediante un decreto el ya citado CDIRM, absorbiendo parte del personal del Instituto de Geología (De Cserna, 2004). Dicha decisión constituyó un cambio de rumbo significativo en la orientación de lo que debería ser la investigación de los recursos minerales de México.

Una dependencia cuyo origen se encuentra vinculado también al entorno de la actividad petrolera es el Instituto de Geofísica. El H. Congreso Universitario de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) lo creó oficialmente en 1945, pero entró en funcionamiento hasta el 7 de febrero de 1949. Por tal motivo, se le transfirió el Servicio Sismológico Nacional, que formaba parte desde 1929 del Instituto de Geología, así como parte del personal académico de este Instituto. Uno de sus objetivos centrales fue colaborar en las tareas geofísicas de Petróleos Mexicanos (De Cserna, 2004).

El Instituto de Geofísica se preservó en el ámbito académico-científico, y permitió cultivar posteriormente otras ramas de la geofísica. De acuerdo con De Cserna (2004), el Instituto de Geofísica representa una de las cuatro dependencias que el Instituto de Geología "dio a luz".

En relación con las políticas gubernamentales y su incidencia en el conocimiento geológico, también se puede señalar que la información geológica generada por Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la dependencia antecesora del Consejo de Recursos Minerales permanecía en archivos técnicos en los cuales no se tenía acceso general, o sólo se conocía parcialmente a través de algunas publicaciones. Al respecto, es importante señalar que la creación de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros en 1949, así como el inicio de la publicación de su Boletín, propició la difusión de información geológica petrolera, la cual contribuyó en forma significativa al conocimiento geológico de diferentes regiones del país, en especial las de potencial petrolero, como las cuencas terciarias de la llanura costera del Golfo de México. Al respecto, se puede señalar que durante este periodo se genera la información básica sobre los rasgos geológicos de las cuencas petroleras citadas, principalmente en lo relativo a su estratigrafía. Sin embargo, muy posiblemente, las contribuciones de información geológica hubiesen sido mayores al tener acceso a la información básica de los archivos técnicos. Medio siglo después, esa situación afortunadamente se ha modificado aunque sea en forma parcial en los archivos de PEMEX, a través de convenios de suministro de información a ciertos organismos gubernamentales. Sin embargo, entre las consecuencias que tuvieron las políticas de acceso restringido a la información, fue una continua duplicidad en la elaboración de cartografía geológica por parte de diferentes dependencias dedicadas al quehacer geológico.

Otro de los rasgos más característicos de este periodo, es el hecho de que comenzaron a desarrollarse en forma gradual las bases estratigráficas de la cobertura mesozoica de México, situación que se vinculó al entorno previo y posterior de la nacionalización de la industria petrolera. Por ejemplo, se publicó un trabajo fundamental sobre la estratigrafía del Mesozoico de México realizado por Burckhardt (1930), y años más tarde se efectuaron las actualizaciones sobre la información estratigráfica del Jurásico y Cretácico realizadas por Imlay (1938, 1943, 1944), las cuales permitieron una mayor compatibilidad con los trabajos estratigráficos de Estados Unidos de América.

En el ámbito del conocimiento de la geología de México, son publicados varios trabajos relevantes que contribuyeron a su avance; entre ellos, se puede citar la síntesis de la fisiografía de México que realizó Ordóñez (1936); la primera clasificación del relieve en grandes unidades, que de acuerdo con Lugo-Hubp (2001) es el inicio de la integración del conocimiento geográfico-geológico de nuestro país. También fue publicado el segundo libro de Geología de México por Garfias y Chapin (1949), caracterizado por vincular en forma muy estrecha los rasgos fisiográficos a los geológicos, es de destacar el importante acopio de referencias bibliográficas que presenta este libro.

Destacan de la misma manera, la síntesis tectónica de México de Álvarez (1949), documento que rescata información no publicada por PEMEX, y los trabajos que

se realizaron en torno al nacimiento y actividad volcánica del Parícutin en 1943 (Flores, 1945; Ordóñez, 1947).

Es interesante señalar que el marco científico conceptual de referencia bajo el cual se realizaban las interpretaciones paleogeográficas y tectónicas de la geología regional de México correspondía al de la Teoría del Geosinclinal. Al respecto, Morán y Lomnitz (2000) señalan que en nuestro país la aplicación del concepto de geosinclinal ya enfrentaba dificultades serias, sobre todo en lo referente a la posición y orientación del llamado Geosinclinal Mexicano Mesozoico respecto al cratón de Norteamérica y al reconocimiento de la polaridad (eugeosinclinal/miogeosinclinal) hasta ese entonces propuestos.

3.4. 1956-1975: El preludio del nuevo resurgimiento

La sesión XX del Congreso Geológico Internacional es el marco de referencia que marca el inicio de este periodo con desarrollo más acelerado de la geología en México. Además, durante esta etapa se registra una de las grandes transformaciones conceptuales de las ciencias de la Tierra: la tectónica de placas.

El escenario del XX Congreso Geológico Internacional fue la cuna de un importante número de publicaciones sobre la geología mexicana: 32 libretos-guía de excursiones geológicas, varias monografías de temas diversos y de alcance regional (De Cserna, 1999), se publica el primer mapa geológico moderno de la República Mexicana (Hernández Sánchez Mejorada, 1956), y años más tarde las ediciones segunda (Hernández Sánchez Mejorada, 1960), tercera (Hernández Sánchez Mejorada y López-Ramos, 1968), y cuarta (López-Ramos, 1976).

Aparecen dos mapas de importancia, el de Provincias fisiográficas de Raisz (1959), que de acuerdo con Lugo-Hubp (2001) es otra propuesta de regionalización y constituye el primer mapa de tipo geomorfológico de la República Mexicana en escala aproximada de 1:3,000,000 y el Mapa tectónico de México compilado por De Cserna (1961) en escala 1:2,500,000, ambos publicados en los Estados Unidos de América.

Durante este periodo son publicados también varios trabajos clásicos de la geología México, que constituyen las bases estratigráficas, tectónicas y metalogenéticas de trabajos posteriores. Entre dichos trabajos destacan González Reyna (1956), Erben (1956a, 1956b), De Cserna (1956, 1961, 1969), Fries (1960), Guzmán (1952), Guzmán y De Cerna (1963), Salas (1975), por citar algunos.

En la segunda mitad de la década de los 60 y la primera de los 70, aparecen varios trabajos que continúan proporcionando elementos importantes para el conocimiento de la geología de México, destacan López-Ramos (1969), Viniegra (1971), Mooser (1972) y Gastil *et al.* (1975).

López-Ramos en 1974 publica la 1ª edición de su obra Geología de México. El libro tuvo tres ediciones (1974, 1976, 1982) con tiraje y distribución limitada, las dos últimas

aparecieron en tres tomos, correspondiendo sólo el segundo y tercero a la geología de México. Este libro contiene descripciones detalladas de unidades litoestratigráficas, a través de él se tiene acceso a información y referencias de varios trabajos inéditos de Petróleos Mexicanos, además de que durante un poco más de una década fue un texto empleado en varios centros de enseñanza superior.

Durante la década de los años 60, en el entorno internacional, se llevó a cabo un cambio profundo en la concepción de las ciencias de la Tierra, al desarrollarse la teoría de la tectónica de placas. Este proceso no tuvo efectos inmediatos en México, requirió de un periodo de asimilación por parte de la comunidad geocientífica mexicana que se comienza a plantear los conceptos de esta teoría hasta la segunda mitad de los años setenta.

Las nuevas interrogantes que planteaba la geología mexicana en el contexto de la tectónica de placas, comprendían una amplia variedad de temas, destacando entre otras, la formación de las grandes provincias magmáticas y la evolución del Golfo de México. Cabe señalar, que las primeras incursiones en dichos cuestionamientos se realizaron por grupos de investigadores extranjeros. Algunas de las interpretaciones pioneras son por ejemplo, el modelo propuesto por Atwater (1970) para explicar la evolución tectónica del piso oceánico contiguo al suroeste de los E.U.A. y al noroeste de México y sus implicaciones en el proceso de apertura del golfo de California, así como los primeros modelos para explicar el truncamiento de la corteza continental debido al desplazamiento lateral izquierdo de fragmentos corticales ahora ubicados en Centroamérica como parte de la placa Caribeña (Molnar y Sykes, 1969; Malfait y Dinkelman, 1972), así como del origen del Golfo de México asociado a la tectónica de placas (Walper y Rowett, 1972).

Un caso muy particular vinculado a lo anterior lo representa el trabajo de De Cserna (1961), en el que muestra la naturaleza truncada de la costa sur de México, así como el límite de cabalgadura del sector continental sobre la porción oceánica. No obstante, dichas ideas precursoras no están enmarcadas en sentido estricto en el marco de referencia de la tectónica de placas.

En el ámbito político-económico, se decreta la Ley de Mexicanización de la minería de 1961, que puede ser caracterizada en términos generales como un periodo de ruptura del modelo de organización productiva (Solariego *et al.*, en Lizalde, 1994) Esta ley provocó, entre otras cosas, la presencia cada vez más marcada del Estado en el sector minero, presencia establecida a través de varias modalidades como fue la actuación de agencias gubernamentales. Una de esas dependencias que marcó en cierta medida el desarrollo de la geología fue el CRM, en donde se efectuaron trabajos de prospección minera de importancia; sin embargo, en esa época no se incluyó en sus actividades un levantamiento geológico minero sistemático.

En 1960 se funda el Instituto de Geología y Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el cual en

su inicio estuvo orientado casi exclusivamente a la docencia, y posteriormente esa actividad se concentró en su Facultad de Ingeniería, en donde se establece la carrera de Ingeniero Geólogo en 1961. Entre las contribuciones de este Instituto sobresale la elaboración de varias cartas geológicas en escala 1:50,000 de la entidad.

La creación de la Unión Geofísica Mexicana en noviembre de 1960, así como el inicio de la publicación de la revista Geofísica Internacional, representa un evento de relevancia, ya que favoreció la integración de uno de los gremios más activos en las ciencias de la Tierra en nuestro país, además de que la revista Geofísica Internacional constituye una de las publicaciones más reconocidas, foro de publicación de varios artículos sobre la geología de México.

3.5. 1976-1991: La revaloración de la Geología de México en el marco de la teoría de la tectónica de placas

El rasgo distintivo de este periodo es la intensa dinámica en las diferentes áreas del conocimiento geológico. Se considera el inicio de esta etapa la segunda mitad de la década de los 70, por las siguientes razones: es a partir de ese momento, en donde en una forma más sistemática se realiza un replanteamiento de la geología de México y de los principales problemas de su evolución en el marco de la tectónica de placas. Otro suceso muy relevante, que en ocasiones no se ha dimensionado en su justa medida y que enmarca también el inicio de este periodo, es el desarrollo de la cartografía topográfica y geológica en diferentes escalas elaborada durante la segunda mitad de la década de los 70 e inicios de la de los 80, por lo que ahora es el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

La valoración de la geología de México en términos de la teoría de la tectónica de placas no fue inmediata, y tuvo un proceso de asimilación de cerca de una década. Algunos de los problemas que se comienzan a plantear son los efectos del proceso de apertura del Golfo de México en la zona continental, la posición del sector meridional de México, así como la evolución de las provincias magmáticas en el contexto de la dinámica litosférica. Otro tema relevante bajo este entorno fue el estudio y caracterización de los terrenos metamórficos del sur de México y su significado tectónico.

La nueva concepción de las ciencias de la Tierra planteaba varias interrogantes acerca de la evolución geológica de México. Por ejemplo, la reconstrucción del supercontinente Pangea realizada por Bullard *et al.* (1965) expresaba rasgos que en este periodo se comenzaron a valorar y tratar de resolver. La sobreposición de Sudamérica en el espacio que ocupa en la actualidad el sur de México, planteó la necesidad de preguntarse ¿qué posición ocupó el sur de México antes de la formación de Pangea? y ¿cómo pasó a ocupar su posición actual? ¿qué vínculos tenían las rocas pre-mesozoicas con otras masas cratonales? ¿cómo se formó el Golfo de

México? ¿qué relación tenían las grandes provincias magmáticas de México en el marco de los límites de placas tectónicas? ¿qué procesos contribuyeron a la deformación de la Sierra Madre Oriental? entre otras muchas.

A partir de este periodo se publican un gran número de trabajos en diferentes áreas geológicas que contribuyen a replantear la concepción de la geología de México; así mismo, confluyen en México varias corrientes del pensamiento geológico. Una de éstas se desarrolló en la década de los 70, en la cual, como resultado de un convenio de colaboración entre el Instituto de Geología con el Gobierno de Francia, varios estudiantes franceses especializados en diferentes áreas vinieron a realizar sus tesis doctorales, así como estancias posdoctorales en el Instituto de Geología. Tal situación, tuvo varias consecuencias.

En primer término se publicaron varios estudios en los que se realizan grandes agrupamientos de los rasgos geológicos de nuestro país, con una fuerte influencia de las escuelas de pensamiento prevalecientes en Francia, además de realizar varios modelos de evolución de algunas regiones, se pueden mencionar entre ellos Demant y Robin (1975), Demant (1978), Tardy (1975), Rangin (1978) y Carfantan (1983), por citar sólo algunos. En segundo término, dicho convenio permitió también que un conjunto de estudiantes mexicanos de las áreas geológicas y biológicas pudieran realizar estudios de posgrado en Francia, para luego incorporarse en trabajos de investigación en México.

Es importante señalar los trabajos que comienzan a establecer los rasgos estratigráficos de los complejos metamórficos de México, su distribución y características particulares, y su significado tectónico (*e.g.*, Ortega-Gutiérrez, 1978a, 1978b, 1981, 1984)

El conocimiento geológico de las grandes provincias magmáticas de México, en especial de la Faja Volcánica Mexicana y de la Sierra Madre Occidental, tuvo un impulso sin precedentes en el que intervinieron también grupos de investigadores de universidades de los Estados Unidos de América. En estos grupos destacan los trabajos de McDowell y Clabaugh (1979), Cameron *et al.* (1980) y Ruiz *et al.* (1988). También confluyen en México grupos de investigadores de Alemania como el que encabezó Negendank (Negendank *et al.* 1985). En este periodo se realizaron múltiples fechamientos de rocas volcánicas, así como la caracterización geoquímica de varios cuerpos de rocas ígneas en México.

El estudio sobre el origen y evolución del Golfo de México a finales de la década de los 70 e inicios de los años 80, representó un episodio importante en el conocimiento de la estructura geológica del Golfo de México, así como de la configuración regional de México, tópico sobre el cual aparecen inicialmente varias publicaciones de grupos extranjeros, entre las que se pueden mencionar a Buffler *et al.* (1980), Anderson y Schmidt (1983) y Coney (1983); posteriormente son publicados otros trabajos con un mayor grado de refinamiento (*e.g.*, Pindell *et al.*, 1988; Salvador, 1991; Marton *et al.*, 1994). Cabe observar, que varios de

estos estudios se desarrollan en forma contemporánea al descubrimiento de los grandes yacimientos de petróleo a finales de los 70 y primera mitad de los 80, aunque estos descubrimientos no se realizaron basados en las ideas emergentes de la tectónica de placas.

A inicios de los años 80, en el escenario de la revaloración de la tectónica de placas en nuestro país, surge la primera división de terrenos tectono-estratigráficos (Campa y Coney, 1983), la cual provocó controversias, sobre todo en torno al tema de la forma en que fue integrada la corteza continental de México, planteando además que el espacio que ocupa México se integra por un mosaico de terrenos de diversa naturaleza amalgamados en diferentes intervalos de tiempo. Se consolida, además, la concepción del truncamiento de la margen pacífica de México.

Una de las regiones del país en que se registran importantes avances durante este periodo es la Sierra Madre Oriental, principalmente en lo relativo a los procesos de sedimentación y diferentes modelos de deformación vinculados a eventos tectónicos mayores. Entre los trabajos publicados que se pueden citar son los de Tardy (1975), González (1976), Zwanzinger (1978), Suter (1984, 1987) y Padilla y Sánchez, (1986); los cuales posteriormente son valorados por Eguiluz *et al.* (2000), quienes publican un trabajo de revisión sobre la tectónica de la Sierra Madre Oriental, en donde se pueden observar los importantes avances que se registran en este periodo.

En este periodo se publica la 1ª y 2ª edición del libro Geología de la República Mexicana (INEGI, 1984; Morán-Zenteno, 1985), que representa una síntesis geológica de México en el marco de las nuevas concepciones sobre la dinámica de la Tierra. Un año más tarde, el mismo autor publica una síntesis sobre la evolución tectónica de México (Morán-Zenteno, 1986).

Durante este periodo, se registran interacciones de la Geología con disciplinas de la Geofísica establecidas en México durante la década de los años ochenta, como es el caso del Paleomagnetismo, a través del cual se realizan las primeras valoraciones sobre la posición de la corteza continental de México (Urrutia *et al.*, 1987). De la misma forma, la Sismología estrecha sus vínculos con la Geología, en el reconocimiento de la estructura y geometría de las placas tectónicas involucradas en la geología mexicana (Pardo y Suárez, 1993)

Otro acontecimiento relevante durante esta etapa es el descubrimiento del cráter de impacto de Chicxulub en la península de Yucatán (Hildebrand *et al.*, 1991), evento que atrajo la atención de varios sectores de la comunidad científica por el significado que representaba en la concepción de otro tipo de procesos geológicos.

Con estrecho vínculo a los avances mencionados, se encuentra la elaboración de la cartografía topográfica por parte del INEGI que constituyó un factor fundamental en el desarrollo de la geología en México, ya que proporcionó la infraestructura básica para la elaboración de una cartografía geológica sistemática en escalas 1:50,000, 1:250,000 y

1:1,000,000. Con anterioridad, el trabajo de cartografía geológica se realizaba en mapas de la Secretaría de la Defensa en escala 1:100,000. Asimismo, se propició un marco de localización más preciso, además de que se adoptaron nuevos sistemas geodésicos de referencia, primero el GRS80 y el ITRF92 en 1988, este último con ventajas de compatibilidad con los sistemas de GPS (Silva-Romo *et al.*, 2001).

La cartografía geológica citada representó una primera aproximación a la geología de varias regiones en las cuales se contaba con muy poca información. El cubrimiento de la cartografía geológica de escala 1:50,000, elaborada por el INEGI, ha logrado un avance aproximado del 45%, el cual estuvo predominantemente enfocado al sector norte y central de México.

También en lo relativo a la cartografía geológica de México disponible, destaca, aparte de la realizada por el INEGI, la elaborada por entidades universitarias como el Instituto de Geología de la UNAM, en escala 1:100,000 publicada a partir de 1962, y que corresponde a proyectos de investigación específicos, y no tiene un objetivo de cartografía sistemático, al igual que la del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. A partir de 1995, el CRM elabora cartografía geológico-minera que en 2004 concluyó el cubrimiento 1:250,000 y en escala 1:50,000 registra un avance de alrededor del 15%.

No obstante los esfuerzos anteriores, a la fecha no contamos con un cubrimiento completo de cartografía geológica en escala 1:50,000. Esta situación tiene un estrecho vínculo con la carencia de una política gubernamental a largo plazo sobre una cartografía geológica sistemática con una visión de conjunto, situación que ha estado vinculada también a la falta de consistencia en los apoyos presupuestales. Por ejemplo, organismos gubernamentales como la Comisión Federal de Electricidad, Petróleos Mexicanos y el Instituto Mexicano del Petróleo, han realizado cartografía geológica con objetivos específicos, además de que regularmente dicha cartografía no está a disposición de todo público. Tal vez, hubiese sido más oportuno elaborar una infraestructura de cartografía geológica común de nuestro país, y que cada organismo, según sus objetivos, profundizara en los aspectos de su interés, evitándose de alguna forma duplicación de esfuerzos y recursos. Tales políticas aún pueden considerarse si tomamos en cuenta que el trabajo cartográfico es un proceso de renovación continua.

El desarrollo de centros de educación superior en ciencias de la Tierra, inicia desde finales del periodo anterior, aunque su impulso más significativo se registra en éste. Destacan el establecimiento de la División de Ciencias de la Tierra, integrada por Geofísica Aplicada, Geología y Sismología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), en 1973; el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora (UNISON), en 1974; las carreras de Geología y Geofísica del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, en 1975; la Facultad de Ciencias de la Tierra de

la Universidad Autónoma de Nuevo León en Linares en 1981, como Instituto, y en 1983 como Facultad; la carrera de Ingeniero Geólogo en la Universidad Autónoma de Chihuahua en 1981; y la Escuela de Ciencias de la Tierra en Taxco, en 1985.

Los nuevos centros de educación superior en áreas de ciencias de la Tierra, tienen un vínculo estrecho con la fuerte demanda durante estos años por parte de la industria petrolera y del sector minero, importantes ramas de la industria con requerimientos de geólogos. El sector petrolero, a finales de los años 70 e inicios de los 80, tiene el entorno de los descubrimientos de los grandes campos petroleros y altos precios del petróleo, y en el caso de la industria minera, entre 1980 y 1985 se registraron las más altas cotizaciones de la plata, uno de los principales productos mineros de México. De la misma forma, la crisis de la industria petrolera y minera de la segunda mitad de los ochenta, provocó fuertes problemas de empleo para los geólogos.

Es de destacar que durante este periodo, especialmente a finales de los años setenta e inicios de los ochenta, se registra una dinámica muy intensa en la investigación aplicada desarrollada por el Instituto Mexicano del Petróleo, que no obstante que fue fundado en 1965, alcanzó un nivel importante de maduración como centro de investigación en esta etapa, en forma paralela al descubrimiento de los grandes yacimientos petroleros.

Un suceso que definió en forma significativa las nuevas tendencias en el desarrollo de las ciencias geológicas fue la creación del Sistema Nacional de Investigadores en 1984, ya que entre otras cosas promovió que los investigadores mexicanos publicaran en revistas de circulación internacional. Esta situación tuvo un significado profundo, el cual se puede analizar desde diferentes posiciones. Por una parte, el publicar en revistas de ciencias de la Tierra de circulación internacional, posiblemente contribuyó a que los trabajos científicos entraran en una dinámica de mayor exigencia debido a la fuerte competencia que registran varias de dichas revistas, también ha servido de catalizador para provocar un proceso de actualización más rápida del conocimiento geológico de frontera que se realiza en otros lugares; asimismo, ha permitido una difusión del conocimiento de la geología mexicana en el ámbito internacional.

Otra perspectiva que expresa argumentos con una posición diferente es, por ejemplo, la de Alaniz-Álvarez *et al.* (2003), quienes concluyen que “publicar los datos fundamentales de la geología mexicana en revistas extranjeras disminuye su impacto en la comunidad nacional, mientras que su impacto a nivel global no es significativo”. Dentro de una perspectiva semejante, De Cserna (2004), señala que si bien la práctica de publicar en revistas internacionales pudiera ser un camino funcional para algunas disciplinas, en la geología esto ha sido y sigue siendo un camino inadecuado, ya que se ha generado un abandono de estudios más completos sobre algunas regiones de México, y se ha desalentado la elaboración de mapas geológicos, entre otras cosas. Tal vez, la inclusión de revistas mexicanas

en el Science Citation Index (SCI), como es el caso de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, la cual a partir del 2004 quedó incluida en el SCI, una ambas posiciones, encontrando el equilibrio entre publicar los estudios fundamentales de México con los criterios de la edición científica internacional.

Una posición intermedia sería promover ambos tipos de publicaciones geológicas, tanto las de circulación nacional como las internacionales, situación que no es excluyente y que favorece a fin de cuentas el desarrollo del conocimiento geológico.

3.6. 1992-2004: Las grandes integraciones

Se considera como inicio de este periodo, la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, la cual fue publicada por Ortega-Gutiérrez *et al.* (1992), ya que marca uno de los rasgos más distintivos de este periodo, que es el intento por realizar una integración sistemática de la gran cantidad de información generada a lo largo de la historia de la geología en México.

En forma muy semejante a la elaboración de la primera Carta Geológica de México (Del Castillo, 1889), la Carta Geológica de 1992 que realiza el Instituto de Geología de la UNAM mediante un convenio de colaboración con el CRM, obedece a la necesidad de mostrar en un documento los rasgos más distintivos de la geología mexicana, evidenciando su gran diversidad geológica y su consecuente potencial para la minería, en un momento en el que nuevamente el sector minero, al igual que en el Porfiriato, realizaba una apertura total a la inversión extranjera.

En el mismo entorno de integración de información geológica, se observa la participación de México en proyectos internacionales como el denominado “The Western North America Volcanic and Intrusive Rock Database (NAVDAT)”, en el que se compila información de edades, datos químicos e isotópicos de rocas ígneas del Cretácico Superior al Holoceno de Norteamérica, en el que participa el Centro de Geociencias de la UNAM. En el ámbito nacional, se realizan importantes acervos en bases de datos como el de la Colección Nacional de Paleontología, o el Banco de Datos GeoInfo del Consejo de Recursos Minerales, por citar algunos.

Asimismo, aparece durante este periodo un importante número de publicaciones especiales que integran grandes volúmenes de información sobre la geología mexicana, entre los que se encuentran los temas siguientes: los terrenos tectono-estratigráficos y evolución tectónica de México (Sedlock *et al.*, 1993), la geología de Sonora (Pérez-Segura y Jacques-Ayala, 1991; Jacques-Ayala *et al.*, 1996), las ciencias de la Tierra en México: algunas perspectivas recientes (Lomnitz, 1999), la evolución tectónica y sedimentaria del Mesozoico del norte y centro de México (Bartolini *et al.*, 1999), la influencia de la interacción de las placas en el magmatismo y tectónica post-laramide (Ferrari *et al.*, 2000), la

tectónica del Cenozoico y vulcanismo de México (Delgado-Granados *et al.*, 2000), la evolución del terreno Guerrero (Centeno-García, *et al.*, 2000), los avances de la Geología mexicana en la década de los 90 (Alaniz-Álvarez y Ferrari, 2000); así como los artículos de síntesis sobre la evolución tectónica de México, como los de Ferrusquía-Villafranca (1993), Ortega-Gutiérrez *et al.* (1994), el de Dickinson y Lawton (2001), y la última revisión de los terrenos tectono-estratigráficos de México por Keppie (2004).

En este periodo se consolida cada vez más la generación de información geológica de tipo cuantitativo de la geología de México, situación estrechamente vinculada al desarrollo de laboratorios con técnicas analíticas de alta precisión, como el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) establecido en 1995, el Laboratorio de Ar-Ar del CICESE y el Laboratorio Universitario de Petrología (LUP), por citar algunos. El alto grado de resolución obtenido en dichos laboratorios ha permitido conocer detalles nunca antes imaginados sobre la evolución de los procesos geológicos.

En este intervalo se plantean, entre otras cosas, la integración de la geología de México, una región de confluencia de eventos geológicos mayores, a las grandes reconstrucciones paleogeográficas continentales. Surge la propuesta del “microcontinente Oaxaquia” (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995), y se formula la necesidad de ubicar el espacio que hoy ocupa México en los procesos de integración y desintegración de los supercontinentes Rodinia y Pangea (Keppie y Ramos, 1999; Keppie *et al.*, 2003).

Durante este periodo se desarrollan también trabajos que integran abundante información con las edades, los datos geoquímicos, la petrogénesis y la geología estructural de las provincias magmáticas de México, como los de Aranda-Gómez *et al.* (1997), Aguirre-Díaz (1998), Morán-Zenteno *et al.* (1999), Nieto-Samaniego *et al.* (1999) y Ferrari *et al.* (1999, 2002).

Asimismo, se publican importantes trabajos sobre el comportamiento, edad e influencia en otros procesos geológicos asociados a los sistemas de fallas mayores de México (Alaniz-Álvarez *et al.*, 1996; Nieto-Samaniego *et al.*, 1997, 1999; Elías-Herrera y Ortega-Gutiérrez, 2002); así como el estudio de los sistemas de fallas activas (*e. g.*, Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1987; Suter *et al.*, 1992, 1995a, 1995b), y del truncamiento de la margen sur del país (*e. g.*, Schaaf *et al.*, 1995).

Un elemento característico en la última década es el considerar a las ciencias de la Tierra como un sistema complejo con interacciones con otro tipo de procesos, lo que ha favorecido el trabajo interdisciplinario. Como ejemplos de lo anterior, se pueden mencionar el estrecho vínculo entre la actividad volcánica y el clima, o la evolución geológica de determinadas regiones con la integración y dispersión de la biota.

En el contexto económico, a inicios de la década de los 90, se retornó a la apertura de los capitales extranjeros al sector minero. Este suceso trajo varias consecuencias,

entre las que se pueden mencionar: (1) el descubrimiento y explotación en corto plazo de varios yacimientos minerales, especialmente los depósitos de oro localizados en el estado de Sonora (La Choya, Santa Gertrudis, etc.); (2) se registra una mayor concentración de la actividad minera en torno a grandes empresas, y (3) una importante disminución de la actividad minera en pequeña escala. Las técnicas de exploración minera presentan un mayor grado de sofisticación, y, en el caso de las empresas extranjeras, muchas veces esta actividad se realiza a través de personal también extranjero.

En forma paralela al contexto anterior, el Consejo de Recursos Minerales (CRM) modificó la orientación de sus funciones centrales al transformarse en el Servicio Geológico Mexicano, suministrando infraestructura geológica, tal como la cartografía geológico-minera en escalas 1:50,000 y 1:250,000, y la publicación de una serie de 24 Monografías Geológico-Mineras, una por Estado, así como otros servicios de información.

También en el ámbito económico, Petróleos Mexicanos ha realizado un serio esfuerzo por descubrir nuevos yacimientos de petróleo y gas, así como de revalorar seriamente las reservas de hidrocarburos con que cuenta México (Lajous, 2004). Es importante señalar que la exploración petrolera se transformó en forma radical desde inicios de la década de los ochenta, cuando entre otras cosas desaparecen las brigadas de exploración superficial. En forma gradual se registra un requerimiento de personal con mayores herramientas de geofísica, así como la necesidad de contar con personal altamente especializado en áreas como la sísmica. Debido a que no se ha logrado satisfacer en plenitud dicha demanda de personal, buena parte de los trabajos de este tipo son realizados por contrato con empresas transnacionales.

Cabe observar, que Morán-Zenteno *et al.* (2003) han señalado que las relaciones entre la actividad académica y la exploración son extremadamente tenues y poco funcionales, situación que no ha favorecido el desarrollo de la geología en México.

Al concluir el presente bosquejo, se advierte que la historia de la Geología en México tiene una estrecha conexión con los factores enunciados al inicio del trabajo: los de orden económico-político-social, los avances científicos y las características propias del registro geológico de nuestro territorio. Sin embargo, es necesario señalar, que dichas conexiones son establecidas en forma muy general.

Asimismo, es importante comentar que en esta breve revisión de los últimos cien años de la geología en México, no se revisaron aspectos de la misma como ciencia aplicada, por ejemplo ramas como la geohidrología y geotecnia, que sin duda alguna han contribuido también a su desarrollo.

Después de este bosquejo surge la interrogante: ¿Para qué un bosquejo de la historia de la Geología en México? No es sólo el ejercicio de citar algunos de los principales acontecimientos y las remembranzas de la geología en México, es un acto de análisis retrospectivo para intentar

localizar los puntos nodulares en donde la geología se ha visto favorecida y en los que se ha visto obstaculizada, es una forma de establecer una crítica objetiva y estar en posición de reconocer las nuevas tendencias de la geología, o en palabras de Octavio Paz: “reconocer nuestro pasado, para reconquistar nuestro futuro”.

Agradecimientos

El autor agradece a la Dra. Susana Alaniz y al Dr. Angel Nieto su constante motivación para escribir el presente artículo. En el primer caso, agradezco también la revisión detallada de la primera versión. Las conversaciones con el Dr. Zoltan De Cserna contribuyeron a enriquecer mis conocimientos sobre el tema, lo cual agradezco sinceramente. La revisión y comentarios del Dr. Dante Morán me permitieron mejorar el trabajo, sin embargo, las deficiencias del mismo son responsabilidad única del autor. De la misma forma, mi gratitud por el apoyo de Barbara Martiny, así como el de Nora Ahuatzin y Rosalinda Rodríguez por su apoyo secretarial.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, J. G., 1896, Bosquejo geológico de México: Instituto Geológico de México, Boletín, 4-6, 270 p.
- Aguilera, J. G., 1904, Reseña del desarrollo de la Geología en México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 1, 35-117.
- Aguirre-Díaz, G. J. (ed.), 1998, Special issue on the tectonic and magmatic evolution of Mexico during the Cenozoic: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 15(2), 115-197.
- Alaniz-Álvarez, S. A., Ferrari, L. (eds.), 2000, Avances de la geología mexicana en la última década: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 53(1), 92 p.
- Alaniz-Álvarez, S. A., van der Heyden, P., Nieto-Samaniego, A. F., Ortega-Gutiérrez, F., 1996, Radiometric and kinematic evidence for Middle Jurassic strike-slip faulting in southern Mexico related to the opening of the Gulf of Mexico: *Geology*, 24, 443-446.
- Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., Medina-Malagón, T. S., Orozco-Esquível, M. T., 2003, La Revista Mexicana de Ciencias Geológicas a través de los índices de impacto del Institute for Scientific Information: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 56(1), 87-98.
- Álvarez, M. Jr., 1949, Tectonics of Mexico: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 33, 1319-1335.
- Anderson, T. H., Schmidt, V. A., 1983, The evolution of middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time: Geological Society of America Bulletin, 94, 941-966.
- Aranda-Gómez, J. J., Henry, C. D., Luhr, J. F., McDowell, F. W., 1997, Cenozoic volcanism and tectonics in NW Mexico- a transect across the Sierra Madre Occidental volcanic field and observations on extension related magmatism in the southern Basin and Range and Gulf of California tectonic provinces, *en* Aguirre-Díaz, G. J., Aranda-Gómez, J. J., Carrasco-Núñez, G., Ferrari, L. (eds.), Magmatism and tectonics in the central and northwestern Mexico a selection of the 1997 IAVCEI General Assembly excursions: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 41-84.
- Atwater, T., 1970, Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America: Geological Society of America Bulletin, 81, 3513-3536.

- Bartolini, C., Wilson, J. L., Lawton, T. F. (eds.), 1999, Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 340, 380 p.
- Böse, E., 1921, On the Permian of Coahuila, northern Mexico: *American Journal of Science*, 1, 187-194.
- Böse, E., 1923, Vestiges of an ancient continent in northeast Mexico: *American Journal of Science*, 6, 127-136, 196-214, 310-337.
- Buffler, R., Watkins, J., Swaub, J., Worzel, J. L., 1980, Structure and early geologic history of the deep central Gulf of Mexico Basin, *en* Pilger (ed.), *The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of central North Atlantic Ocean. Proceedings of a symposium: Baton Rouge, Louisiana, Louisiana State University*, 3-16.
- Bullard, E. C., Everett, J. E., Smith, A. G., 1965, The fit of continents around the Atlantic, *en* Blacket, P., Bullard, E. C., Runcorn, A. (eds.), *Symposium on continental drift: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 258(1088), 41-51.
- Burckhardt, C., 1930, Etude synthétique sur le mésozoïque mexicain: *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, 49(50), 123 p.
- Cameron, M., Bagby, W. C., Cameron, K. L., 1980, Petrogenesis of voluminous mid-Tertiary ignimbrites of the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 74, 271-284.
- Campa, M. F., Coney, P. J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040-1051.
- Carfantan, J. C., 1983, Les ensembles géologiques du Mexique meridional: evolution géodynamique durante le Mésozoïque et le Cénozoïque, *en* Urrutia-Fucugauchi, J. (ed.), *Palaeomagnetism and tectonics of Middle America and adjacent regions; Part 2: Geofísica Internacional*, 22(1), 39-56.
- Centeno-García, E., Lomnitz, C., Ramírez-Espinosa, J. (eds.), 2000, Geologic evolution of the Guerrero Terrane, western Mexico: *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 293-476.
- Coney, P. J., 1983, Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe: *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, 15, 6-15.
- De Cserna, Z., 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey, México, *en* XX Congreso Geológico Internacional: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 87 p., 2 mapas.
- De Cserna, Z. (comp.), 1961, Tectonic map of Mexico, scale 1:2,500,000: Geological Society of America, 1 mapa.
- De Cserna, Z., 1969, Tectonic framework of southern Mexico and its bearing on the problem of continental drift: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 30, 159-168.
- De Cserna, Z., 1989, An outline of the geology of Mexico, *en* Bally, A. W., Palmer, A. R. (eds.), *The geology of North America—An overview: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America*, A, 233-264.
- De Cserna, Z., 1990, La evolución de la geología en México: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, 9(1), 1-20.
- De Cserna, Z., 2004, Influencia de la Autonomía en el desarrollo de las disciplinas científicas: Geología. Discurso pronunciado el 12 de octubre de 2004 en ocasión de las Jornadas Conmemorativas del 75 aniversario de la autonomía de la UNAM: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, (inédito).
- De Golyer, E., 1952, Historia de la exploración de petróleo en México antes de la expropiación 1938: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 4(7-8), 303-322.
- Del Castillo, A., 1889, Bosquejo de una carta geológica de la República Mexicana, escala 1:3'000,000: México, D. F., Comisión Geológica de México, 1 mapa.
- Delgado-Granados, H., Aguirre-Díaz, G. J., Stock, J. (eds.), 2000, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, *Special Paper*, 334, 275 p.
- Demant, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geología, *Revista*, 2, 172-187.
- Demant, A., Robin, C., 1975, Las fases del volcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, 1(1), 70-83.
- Dickinson, W. R., Lawton, T. F., 2001, Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 113, 1142-1160.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M., Marrett, R., 2000, Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México, *en* Alaniz-Álvarez, S. A., Ferrari, L. (eds.), *Avances de la geología mexicana en la última década: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, 1-26.
- Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., 2002, Caltepec fault zone: an early Permian dextral transpressional boundary between the Proterozoic Oaxacan and Paleozoic Acatlán Complexes, southern Mexico, and regional tectonic implications: *Tectonics*, 21(3), 4-1 a 4-19, doi 10.1029/2000TC001278.
- Enciso de la Vega, S., 1980, Algunos datos para la cronología Geológico-Minera de México: *Geomimet. Época* 3, 104, 63-72.
- Erben, H. K., 1956a, El Jurásico inferior de México y sus amonitas, *en* XX Congreso Geológico Internacional: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 393 p.
- Erben, H. K., 1956b, El Jurásico medio y el Calloviano de México, *en* XX Congreso Geológico Internacional: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 140 p.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G. J., Carrasco-Núñez, G., 1999, Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central México; from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt: *Geology*, 27, 303-307.
- Ferrari, L., Stock, J., Urrutia-Fucugauchi, J. (eds.), 2000, The Influence of plate tectonics on post-Laramide magmatism and tectonics in Mexico: *Tectonophysics*, 318(1-4), 302 p.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Rosas-Elguera, J., 2002, Ignimbrite flare-up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico, implications for the late subduction history of the Farallon plate: *Tectonics*, 21(4), 17-1 a 17-24, doi 10.1029/2001TC901016.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1993, Geology of Mexico: a synopsis, *en* Ramamoorthy, T., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (eds.), *Biological diversity of Mexico, origins and distribution: Oxford, Oxford University Press*, 3-107.
- Flores, T. (ed.), 1945, Investigaciones geológicas relativas al volcán Parícutín: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Estudios Volcanológicos*, 155 p.
- Freudenberg, W., 1921, *Geologie von Mexiko: Berlín, Borntraeger*, 232 p.
- Fries, C. Jr., 1960, Geología del estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central-meridional de México: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Boletín*, 60, 236 p.
- Garfías, V., Chapin, T., 1949, Geología de México: México, Jus, 202 p.
- Gastil, R. G., Phillips, R., Allison, E., 1975, Reconnaissance geology of the state of Baja California: Boulder, Colorado, Geological Society of America, *Memoir*, 140, 170 p., 3 mapas.
- González, R., 1976, Bosquejo geológico de la zona noreste: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 38(1 y 2), 2-49.
- González-Reyna, J., 1956, Riqueza minera y yacimientos minerales de México, 3ª ed.: México, D. F., Banco de México, 497 p., 15 mapas.
- Guzmán, E., 1952, Volumes of Mesozoic and Cenozoic sediments in mexican gulf coastal plain: *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1201-1220.
- Guzmán, E., De Cserna, Z., 1963, Tectonic history of Mexico, *en* Childs, O. E., Beebe, B.W. (eds.), *Backbone of the Americas: Tulsa, Oklahoma, American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 2, 113-129.
- Hallam, A. M., 1983, *Great geological controversies: Oxford, Oxford University Press*. 182 p.
- Hernández Sánchez Mejorada, S., (comp.), 1956, Carta geológica de la República Mexicana, XX Congreso Geológico Internacional,

- Sesión México 1956, escala 1:2'000,000. 1a edición: México, D. F., Congreso Geológico Internacional, 1 mapa.
- Hernández Sánchez Mejorada, S. (comp.), 1960, Carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2'000,000. 2a edición: México, D. F., Comité de la Carta Geológica de México, 1 mapa.
- Hernández Sánchez Mejorada, S., López-Ramos, E. (comps.), 1968, Carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2'000,000: México, D. F., Comité de la Carta Geológica de México, 1 mapa.
- Hildebrand, A. R., Penfield, G. T., Kring, D. A., Pilkington, M., Camargo-Zanoguera, A., Jacobsen, S. B., Boynton, W. V., 1991, Chicxulub crater, a possible Cretaceous/Tertiary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico: *Geology*, 19, 867-871.
- Imlay, P. W., 1938, Studies of the Mexican geosyncline: *Geological Society of America Bulletin*, 49, 1651-1694.
- Imlay, P. W., 1943, Jurassic formations of Gulf region: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 27, 1407-1533.
- Imlay, P. W., 1944, Cretaceous formations in Central America and Mexico: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 28, 1077-1195.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1984, Geología de la República Mexicana: México, Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 82 p.
- Jacques-Ayala, C., González-León, C., Roldán-Quintana, J. (eds.), 1996, Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 301, 216 p.
- Keppie, J. D., 2004, Terranes of Mexico revisited: a 1.3 billion year odyssey: *International Geology Review*, 46, 765-794.
- Keppie, J. D., Ramos, V., 1999, Odyssey of terranes on the Iapetus and Rheic Oceans during the Paleozoic, *en Ramos, V, Keppie, J. D., (eds.), Laurentia –Gondwana connections before Pangea: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 336, 267-276.*
- Keppie, J. D., Nance, R. D., Murphy, J. B., Dostal, J., 2003, Tethyan, mediterranean, and Pacific analogues for the Neoproterozoic –Paleozoic birth and development of peri-Gondwana terranes and their transfer to Laurentia and Laurasia: *Tectonophysics*, 365(1-4), 195-219.
- Knoll, A., 2003, La vida en un joven planeta: los primeros tres mil millones de años de la Tierra: Madrid, España, Crítica, Serie Drakontos, 366 p.
- Kuhn, T., 1986, La estructura de las revoluciones científicas: México, Fondo de Cultura Económica, 320 p.
- Lajous, A., 2004, Las reservas de gas natural de México: Este País, tendencias y opiniones, México, 22-30.
- Lizalde-Chavéz, E. (ed.), 1994, Antología Minera de México: México, D. F., Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, 183 p.
- Lomnitz, C. (ed.), 1999: Earth Sciences in Mexico, Some Recent Perspectives: Special Issue, *Journal of South American Earth Sciences*, 12(6), 613 p.
- López-Ramos, E., 1969, Marine Paleozoic rocks of Mexico: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 53, 2399-2417.
- López-Ramos, E., 1974, Geología general de México. 3ª edición: México, D. F., Edición Escolar, 507 p.
- López-Ramos, E. (comp.), 1976, Carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2,000,000. 4ª edición: México, D. F., Altos Hornos de México, Comité de la Carta Geológica de México, 1 mapa.
- López-Ramos, E., 1993, Contribución a la historia de la Geología en México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 43(1), 42-53.
- Lugo-Hubp, J., 2001, Los conceptos geomorfológicos en la obra de Ezequiel Ordóñez (1867-1950): *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(1), 89-102.
- Malfait, B. T., Dinkelman, M. G., 1972, Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate: *Geological Society of America Bulletin*, 83, 251-271.
- Marton, G., Buffler, R. T., 1994, Jurassic reconstruction of the Gulf of Mexico basin: *International Geology Review*, 36, 545-586.
- McDowell, F. W., Clabaugh, S. E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, *en Chapin, C. E., Elston, W. E. (eds.), Ash-flow tuffs: Boulder, Colorado, Geological Society American, Special Paper, 180, 113-124.*
- Meyer, L., 2004, La institucionalización del nuevo régimen, *en El Colegio de México, Centro de Estudios Históricos, Historia General de México, Versión 2000: México, El Colegio de México.*
- Molnar, P., Sykes, L. R., 1969, Tectonics of the Caribbean and middle America regions from local mechanisms and seismicity: *Geological Society of America Bulletin*, 80, 1639-1684.
- Morán-Zenteno, D., 1985, Geología de la República Mexicana: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 88 p.
- Morán-Zenteno, D. J., 1986, Breve revisión sobre la evolución tectónica de México: *Geofísica Internacional*, 25(1), 9-38.
- Morán-Zenteno, D., Lomnitz, C., 2000, Las ciencias de la tierra en México, *en Menchaca, A. (coord.), Las ciencias exactas en México: México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Fondo de Cultura Económica, Fondo de Estudios e Investigaciones Ricardo J. Zevada.*
- Morán-Zenteno, D. J., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macias-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernandez-Bernal, M. S., Solis-Pichardo, G., Tolson, G., Martinez-Serrano, R. G., 1999, Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of South American Earth Science*, 12, 513-535.
- Morán-Zenteno, D. J., Escobar-Briones, E., Vidal-Lorandi, V. M. V., Raga, G., Carrasco-Núñez, G., Alcocer-Durand, J., Delgado-Granados, H., Marín-Stillman, L., 2003, Sección de Geociencias, *en De la Peña, A., (ed.), Estado actual y Prospectiva de la Ciencia en México: México, Academia Mexicana de Ciencias, 119-152.*
- Mooser, F., 1972, The Mexican volcanic belt, structure and tectonics: *Geofísica Internacional*, 12(2), 55-70.
- Negendank, J., Emmermann, R., Krawczyk, R., Mooser, F., Tobschall, H., Wehrle, D., 1985, Geological and geochemical investigations on the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: *Geofísica Internacional*, 24, 477-575.
- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S. A., Labarthe-Hernández, G., 1997, La deformación cenozoica poslaramfídica en la parte meridional de la Mesa Central, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14, 13-25.
- Nieto-Samaniego, A. F., Ferrari, L., Alaniz-Álvarez, S. A., Labarthe-Hernández, G., Rosas-Elguera, J., 1999, Variation in Cenozoic extension and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, western Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 111, 347-363.
- Ordóñez, E., 1936, Principal physiographic provinces of Mexico: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 20, 1277-1307.
- Ordóñez, E., 1947, El volcán Parícutín: México, Fantasía, 181 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978a, Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, estados de Puebla y Oaxaca: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 2, 112-131.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978b, El Gneis Novillo y rocas metamórficas asociadas en los cañones del Novillo y de La Peregrina, área de Ciudad Victoria, Tamaulipas: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 2, 19-30.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1981, Metamorphic belts of southern México and their tectonic significance: *Geofísica Internacional*, 20, 177-202.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1984, La evolución tectónica premisisípica del sur de México: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 5, 140-157.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D. J., Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., 1992, Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Minas e Industria Paraestatal, Consejo de

- Recursos Minerales, 74 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., Sedlock, R. L., Speed, R. C., 1994, Phanerozoic tectonic evolution of Mexico, *en* Speed, R. C. (ed.), Phanerozoic evolution of North American continent-ocean transition: Boulder, Colorado, Geological Society of America, DNAG Continent-Ocean Transect Volume, 265-306.
- Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno-García, E., 1995, Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: *Geology*, 23, 1127-1130.
- Padilla y Sánchez, R. J., 1986, Post-Paleozoic tectonics of northeast Mexico and its role in the evolution of Gulf of Mexico: *Geofísica Internacional*, 25, 157-206.
- Pardo, M., Suárez, G., 1993, Steep subduction geometry of the Rivera plate beneath the Jalisco block in western Mexico: *Geophysical Research Letters*, 20, 2391-2394.
- Pérez Segura, E., Jacquez Ayala, C. (eds.), 1991, Studies of sonoran Geology: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, 254, 130 p.
- Pindell, J. L., Cande, S. C., Pitman, W. C. III, Rowley, D. B., Dewey, J. F., Labreque, J., Haxby, W., 1988, A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution: *Tectonophysics*, 155, 121-138.
- Raisz, E., 1959, Landforms of Mexico, Scale 1:3,000,000: Cambridge, Mass., U.S. Office of Naval Research, Geography Branch, 1 mapa.
- Rangin, C., 1978, Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del estado de Sonora, *en*, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero del estado de Sonora, Libro Guía: Hermosillo, Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 35-56.
- Rubinovich-Kogan, R. E., Levi-Aguilera, M., Luna-Moreno, C. de, Block-Iturriaga, C., 1991, José Guadalupe Aguilera-Serranún: datos biográficos y bibliografía anotada: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Universidad Autónoma de Hidalgo, Instituto de Investigaciones de Ciencias de la Tierra, 116 p.
- Rubinovich-Kogan, R., Lozano, M., Vargas-Mendoza, H. (comps.), 1998, Ezequiel Ordóñez: vida y obra (1867-1950): México, El Colegio Nacional, 1, 315 p.
- Ruiz, J., Patchett, P. J., Arculus, R. J., 1988, Nd-Sr isotopic composition of lower crustal xenoliths, Evidence for the origin of mid-Tertiary felsic volcanics in Mexico: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99, 36-43.
- Salas, G. P., 1975, Carta de provincias metalogenéticas de la República Mexicana: México, Consejo de Recursos Minerales, Publicación 21-E, 242 p., 1 mapa.
- Salvador, A. (ed.), 1991, The Gulf of México basin: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, J, 568 p.
- Santillán, M., 1940, El Instituto Geológico como dependencia de la Universidad Nacional de México: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 25 p., 1 lámina.
- Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C. C., Campos-Madrigal, E., 2001, Elementos de cartografía geológica: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 292 p.
- Suter, M., 1984, Cordilleran deformation along the eastern edge of the Valles-San Luis Potosí carbonate platform, Sierra Madre Oriental fold-thrust belt, east-central Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 95, 1387-1397.
- Suter, M., 1987, Structural transverse across the Sierra Madre Oriental fold and thrust belt in east-central Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 98, 249-264.
- Suter, M., Quintero-Legorreta, O., Johnson, C. A., 1992, Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico, 1. The Venta de Bravo fault: *Journal of Geophysical Research*, 97, 11983-11993.
- Suter, M., Quintero-Legorreta, O., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G. J., Farrar, E., 1995a, The Acambay graben: active intra-arc extension in the Trans-Mexican Volcanic belt, Mexico: *Tectonics*, 14, 1245-1262.
- Suter, M., Carrillo-Martínez, M., López-Martínez, M., Farrar, E., 1995b, The Aljibes half-graben –Active extension at the boundary between the Trans-Mexican volcanic belt and the Basin and Range province, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 107, 627-641.
- Schaaf, P., Morán-Zenteno, D. J., Hernández-Bernal, M. S., Solís-Pichardo, G., Tolson, G., Köhler, H., 1995, Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: Geochemical evidence: *Tectonics*, 14, 1339-1350.
- Sedlock, R., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 278, 153 p.
- Tardy, M., Longoria, J. F., Martínez-Reyes, J., Mitre-Salazar, L. M., Patiño, M., Padilla y Sánchez, R., Ramírez, R., 1975, Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental. La aloctonía del conjunto Cadena Alta-Altiplano Central, entre Torreón, Coahuila y San Luis Potosí, S. L. P., México: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 1(1), 1-11.
- Thayer, W. N., 1916, The physiography of Mexico: *Journal of Geology*, 24, 61-94.
- Urrutia-Fucugauchi, J., Moran-Zenteno, D. J., Cabral-Cano, E., 1987, Paleomagnetism and tectonics of Mexico: *Geofísica Internacional*, 26, 429-458.
- Velasco-Avila, C., Flores, E., Parra, A., Gutiérrez, C., 1988, Estado y minería en México (1767-1910): México, Secretaría de Minas e Industria Paraestatal; Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión de Fomento Minero; Fondo de Cultura Económica, 455 p.
- Viniegra-Osorio, F., 1971, Age and evolution of Salt basins of southeastern Mexico: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 55, 478-494.
- Walper, J. L., Rowett, C. L., 1972, Plate tectonics and the origin of the Caribbean and the Gulf of Mexico: *Transactions of the Gulf Coast: Association of Geological Societies*, 22, 105 –116.
- Zwanzinger, J. A., 1978, Geología regional del sistema sedimentario Cupido: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 30(1 y 2), 1-50.

Manuscrito recibido: Febrero 28, 2005

Munsucrito corregido recibido: Junio 06, 2005

Manuscrito aceptado: Junio 23, 2005