

Información histórica de las rocas de Oaxaca

Jesús Salvador Torales Iniesta*

Resumen

El conocimiento de las características de las rocas, además de abrir un gran campo a la investigación de los materiales en cuanto a su exploración, explotación y aprovechamiento, constituye una gama de posibilidades para obtener información que nos lleve a entender los procesos de origen, formación y transformación de los eventos históricos que han marcado la configuración actual del relieve de las regiones. Para esto, la ciencia y tecnología con la que se ha contado en diversas épocas han aportado su parte para lograr los alcances que se tienen en la actualidad. Se han desarrollado procedimientos e instrumentos para el estudio de las rocas que, además de proporcionar sus características físicas y químicas, determinan su antigüedad tomando en cuenta su posición en un conjunto de formaciones rocosas, el contenido fosilífero o la transformación atómica de sus constituyentes.

Sin embargo no es suficiente obtener información sobre sus características y su antigüedad, testigos mudos de las grandes historias para conocer las rocas. También es necesario proyectar al pasado la ocurrencia actual de eventos como las emanaciones volcánicas, la movilidad de las placas tectónicas, los efectos de la presión y temperatura (atmosféricas y subterráneas) sobre las rocas y los procesos de intemperismo, erosión, transporte, deposición y diagénesis de los sedimentos en las cuencas marinas y continentales; todos ellos activos formadores de rocas ígneas sedimentarias y metamórficas e irrefrenables, y continuos transformadores del relieve desde el origen mismo de la tierra.

Introducción

Las reflexiones profundas que buscan los principios, las observaciones del entorno en que tiene lugar la vida humana y el descubrimiento y abastecimiento de materiales propicios para el desarrollo, han servido de base para que diversos pensadores en todas las épocas hayan propuesto distintos modelos para explicar el origen de la materia, generando posiciones de los eventos que le dieron lugar en las escalas espaciales y temporales, lo cual, en un sentido materialista, ha sido utilizado para reproducir las estructuras que explican el carácter económico de los recursos minerales que han servido como guías en la exploración y explotación de los mismos.

Abstract

Knowledge of the characteristics of rocks opens up a big field of materials research with regard to their exploration, exploitation and utilization. But it also creates a range of possibilities for obtaining information which leads to an understanding of the processes related to the origin, formation and transformation of the historical events which have left their mark on the actual shape of regions. Science and its accompanying technology in different periods have made their contribution towards achieving the results which we now have. In the case of the study of rocks procedures and instruments have been developed which, as well as providing their physical and chemical features, also show their antiquity by taking into account their position within a set of rock formations, the fossil content or the atomic transformation of their constituents.

Rocks are the silent witnesses of history. However, merely obtaining information about the characteristics and the antiquity of rocks is not enough to really know them fully. It is also necessary to project into the past present-day occurrence of events like volcanic eruptions, movement of tectonic plates, the effects of pressure and temperature (atmospheric and underground) on rocks and the processes of weathering, erosion, transportation, depositing and diagenesis of sediments in marine and continental beds; all these have been active in the formation of sedimentary and metamorphic igneous rocks, as well as being irresistible and continuous transformers of reliefs from the very origin of the earth.

Los antiguos filósofos griegos y romanos creían que la tierra existe por capricho de los dioses, lo cual en cierta forma detuvo el avance de la Geología; sin embargo, el estudio de los fósiles en el siglo V a.C. sugería que alguna vez el mar había cubierto el área donde éstos se encontraban. Igualmente, Aristóteles, inspirado en sus observaciones del Delta del Río Nilo, percibía que el agua participaba en el proceso de erosión y deposición de los sedimentos. Varios siglos después, Leonardo Da Vinci (1452-1519), observó diversas formas geológicas y reconoció la naturaleza orgánica de los fósiles, postulando que su presencia en las rocas indicaba que el nivel de las aguas marinas había sufrido variaciones debido a hundimientos y levantamientos.

Posteriormente destacaron las observaciones de rocas y fósiles en la región montañosa de Tuscany, Italia,

* Profesor - Investigador y Director del Instituto de Minería de la UTM

realizadas por Nicolás Steno en 1669, quien estableció los principios básicos de la Geología, a saber, que todas las rocas sedimentarias son inicialmente depositadas en estratos horizontales y que las capas superiores son más jóvenes que las inferiores (principio de "superposición"). A primera vista esto parece muy obvio, sin embargo se articulaba una herramienta de gran importancia para la definición de la edad relativa de las rocas y de las estructuras que las acompañan, como fallas, fracturas, plegamientos e intrusivos.

Lo anterior sólo representa una aproximación a lo que ahora se conoce como las ciencias de la Geología y la Paleontología. Ellas tienen como estructura fundamental la determinación de la edad de las rocas y de los fósiles, con el objeto de explicar la sucesión de los eventos ocurridos en diversas épocas geológicas. También es a la ciencia de la Geología (con apoyo de otras especialidades como la Geofísica) a la que corresponde proporcionar explicaciones tanto de lo que se observa en la superficie terrestre como de lo que no se observa (el manto y el núcleo, por ejemplo, que, no obstante, se manifiestan a través de los registros obtenidos en la aplicación de métodos geofísicos). Además, existen modelos que explican que algunos fenómenos geológicos tienen su origen en la actividad que se desarrolla en los límites de la corteza terrestre y el manto, como son los fenómenos sísmicos, los fenómenos volcánicos y la movilidad de las placas tectónicas, las cuales producen en las rocas sedimentarias deformaciones que dan lugar a plegamientos de diversos tamaños (como los que se llegan a observar en los cortes montañosos en donde se construyen las carreteras).

A medida que avanzaron las investigaciones geológicas, se dieron respuestas a muchas interrogantes, de igual forma surgieron nuevos cuestionamientos como los que se refieren a los efectos transformantes de la presión y temperatura sobre las rocas existentes. Por tal motivo, en el presente siglo se ha acudido al apoyo de otras ciencias como la Física y Química para la caracterización y la clasificación de los minerales según sus ambientes físicos y químicos de formación.

La edad de las rocas

La edad de las rocas puede establecerse en forma sencilla a partir de su posición en un conjunto de formaciones rocosas: la más joven es la que se encuentra en la parte superior y la más antigua en la parte inferior (como lo estableció Steno); sin embargo, es preciso observar que no exista "cabalgamiento", es decir, que la secuencia esté en forma inversa.

El método para obtener cierta precisión en el caso de las rocas sedimentarias, se basa en la antigüedad de los organismos fósiles que ellas contienen, los cuales también nos indican las condiciones prevalecientes en la cuenca de depósito. Su alcance cronológico es de hasta 600 millones de años; sin embargo, dicho método está supeditado a la aparición de seres vivos que, mientras más antigua sea la época, su presencia en la tierra será más escasa.

En cuanto a la determinación de las secuencias temporales de las rocas ígneas y metamórficas, se utiliza la espectrografía y la medición atómica de masas de los elementos (como el potasio, argón, rubidio, estroncio, uranio y plomo), que son contenidos de algunos minerales que forman las rocas, obteniendo alcances cronológicos del orden de los cientos y miles de millones de años. Por ejemplo, se ha calculado que la vida media del isótopo del uranio 238 es de 4.5 mil millones de años, lo cual significa que de un gramo de este isótopo, quedaría medio gramo después de 4.5 mil millones de años y el resto adquiere la forma de uranio 234 y decae hasta el isótopo de plomo 206. De igual forma el isótopo de uranio 235 decae a plomo 207. Eso significa que a medida que decae la radiactividad de los minerales de uranio continuamente se está acumulando plomo.

El muy conocido método de datación, el carbono 14, es utilizado en diversas disciplinas como la Antropología, debido a que su alcance máximo es de aproximadamente 60 mil años, periodo que en términos geológicos es sumamente insignificante.

Proyección del presente hacia el pasado

A pesar de que sobra decir que las magnitudes de las edades de los fenómenos geológicos que dieron origen a la conformación actual de la tierra están fuera del alcance de la vida media del hombre, prácticamente las deducciones que se han realizado para explicar el pasado y hasta el origen del territorio de cualquier región, se han apoyado en el análisis de fenómenos que en la actualidad se presentan en toda la tierra, tales como la erosión, el transporte y la depositación de sedimentos y materia orgánica, o bien el vulcanismo de las regiones asociadas a los límites de placas tectónicas; y resulta útil tomar en cuenta que el entendimiento de la dinámica de estos fenómenos nos conduce a explicar las concentraciones minerales que se explotan y han sido explotadas en diversas épocas y que forman la base del desarrollo industrial mundial. Es decir, los estudios que se realizan para la exploración y explotación de yacimientos como el petróleo, el oro, la plata, etc., proporcionan modelos que si bien tienen la finalidad de entender y planear acciones para su aprovechamiento actual, también proporcionan elementos de gran importancia para la explicación del origen y evolución de las zonas en donde se encuentran. Estos esquemas de estudio comúnmente se proyectan a otras regiones, hasta que en algunos casos resulta de aplicación general.

Para facilitar el entendimiento de todo lo anterior es necesario tomar como referencia, en una escala de tiempo, el origen de las rocas sedimentarias, rocas ígneas y rocas metamórficas, quienes tienen correspondencia con la tectónica de placas.

Las rocas sedimentarias

En términos generales los fenómenos que intervienen para dar origen a las rocas sedimentarias comprenden el intemperismo, la erosión, transporte, depositación y diagénesis de materiales derivados de la disgregación clástica, orgánica y química existentes en las áreas continentales, es decir, arriba del nivel del mar. El destino de estos materiales son las cuencas marinas o las cuencas continentales (como los lagos), adquiriendo características asociadas a

los propios ambientes de la zona de depósito, las cuales prevalecen en las rocas a las que dan origen, tal como se deduce de la observación de fenómenos, lo que permite reproducir espacial y temporalmente su historia.

En México la Sierra Madre Oriental es un ejemplo de rocas sedimentarias de origen marino, plegadas por efectos tectónicos. No es casualidad que es precisamente en estas zonas del Golfo de México donde se han localizado yacimientos petroleros de importancia mundial, ya que este hidrocarburo es formado a partir de la materia orgánica que en tiempos geológicos (regularmente del Cretácico) fue depositada y enterrada en asociación con los sedimentos de las cuencas marinas.

En el Estado de Oaxaca, las rocas sedimentarias existentes no tienen la misma extensión ni las mismas posibilidades de contener hidrocarburos como las de los Estados que limitan con el Golfo de México; en cambio, han mostrado tener un importante potencial como productoras de materia prima para un gran número de industrias que utilizan en sus procesos minerales no metálicos, tal es el caso de los yacimientos de yeso, cal, arena sílica y materiales arcillosos. Desgraciadamente la explotación de estos yacimientos es muy escasa.

Las rocas ígneas

La ocurrencia de las rocas ígneas está relacionada a soluciones provenientes del manto en forma de emanaciones volcánicas o de rocas cristalizadas a profundidad. Además, se ha establecido que el emplazamiento de las rocas ígneas tiene que ver con zonas de debilidad en la corteza y fenómenos de movilidad tectónica. El interés que revisten los fenómenos ígneos es que dan origen a vetas y diseminaciones minerales a partir del emplazamiento de soluciones que tienen origen en zonas profundas de la corteza y en la parte superior del manto.

En el caso de eventos volcánicos, las rocas ígneas extrusivas continentales (también existen en los fondos marinos) resultantes imprimen nuevas características a los relieves superficiales de las zonas en donde ocurren

y constituyen desde ese momento una reserva de materiales para la formación de rocas sedimentarias a partir de su intemperismo, erosión, transporte, depositación y diagénesis.

Las rocas ígneas cubren una gran extensión del territorio mexicano, baste decir que la Sierra Madre Occidental y el eje Neovolcánico están constituidos por este tipo de roca. Cabe mencionar que los yacimientos minerales más importantes de México han sido localizados en asociación a estas zonas, (Guanajuato, Zacatecas, Pachuca, Taxco, Sonora, Durango, Sinaloa). En Oaxaca, las rocas ígneas de origen volcánico cubren grandes extensiones y tienen diversos colores y características que las hacen muy peculiares con respecto a otras localidades, por lo que son aprovechadas como una fuente importante de material de cantera para la construcción y obras ornamentales. En asociación con estas rocas, se encuentran una gran cantidad de yacimientos minerales (principalmente no metálicos), los cuales son escasamente explotados.

Las rocas metamórficas

El origen de las rocas metamórficas se produce a partir del fenómeno conocido como "metamorfismo", que consiste de la suma de los procesos que ocasionan el ajuste mineralógico y estructural de las rocas preexistentes, como respuesta a los ambientes circundantes físicos y químicos que ocurren abajo de la zona de intemperismo y la cementación, siendo la temperatura, la presión y los fluidos químicamente activos los principales factores que intervienen en los cambios.

La subdivisión del campo del metamorfismo ha dado lugar a una terminología con influencias genéticas que supone el conocimiento de las causas y condiciones físicas de cada clase de metamorfismo (inyección, térmico, geotérmico, neumatolítico, hidrotermal, de presión, dinámico y de dislocación); sin embargo, las rocas metamórficas se presentan en unos pocos ambientes geológicos y pueden ser identificadas en términos de criterios de campo y de asociaciones. Sobre esta base se identifican tres tipos de metamorfismo: el de "contacto", que

se presenta en zonas limitadas (aureolas) adyacentes a masas de rocas plutónicas; el "regional", que se desarrolla en grandes áreas de hasta cientos de miles de kilómetros cuadrados, como en los escudos continentales precámbricos y en las bases de las montañas plegadas; y el metamorfismo de "dislocación", que está limitado a zonas de fallas y de intensa deformación.

Debido a que algunos procesos metamórficos como el "regional" se desarrollan con mayor influencia de presión que de temperatura, su origen se ubica en las zonas profundas de la corteza, sin embargo, pueden ser observadas superficialmente en algunos lugares. Esto implica la consideración de prolongadas etapas geológicas de intemperismo acompañadas de levantamientos tectónicos, lo cual propició el desgaste y eliminación de las rocas que las sobreyacían.

En la República Mexicana las regiones más significativas (por su antigüedad y extensión) con afloramientos de rocas metamórficas se localizan en Oaxaca. En ellas, se encuentran yacimientos minerales como el talco, mica y grafito; sin embargo, se estima que existe un mayor número de minerales de importancia industrial y estratégica en zonas aún por conocer más detalladamente.

El proceso de erosivo

En todas las rocas descritas anteriormente que se encuentran expuestas a un ambiente continental, se lleva a cabo el proceso de erosión e intemperismo (cuyos materiales producidos son formadores de las rocas sedimentarias) y determina en diversas épocas geológicas las discordancias en las formaciones de rocas cuyas características indican que no existe una continuidad en las edades que representan, incluso de los ambientes de depósito que les dieron origen.

Este proceso implica que en el transcurso del tiempo, las superficies expuestas a la intemperie se van "desgastando" por efectos físicos, químicos y biológicos existentes en el ambiente. De esta manera, las rocas se disgregan y producen materiales sueltos, los cuales

son transportados por el agua y el aire hasta su depósito en cuencas continentales u oceánicas.

Por otra parte, el proceso de erosión provoca en el transcurso del tiempo –geológico– el surgimiento paulatino de las rocas que se encuentran a profundidad, sometiéndolas al proceso mismo. El proceso erosivo tiende a alcanzar el nivel del mar, que corresponde al llamado nivel base de erosión.

Como se puede observar, la información histórica de las rocas sedimentarias es muy abundante y el conocimiento de su proceso de formación favorece el análisis de los fenómenos que tuvieron lugar tanto en ambientes continentales como de cuenca, ya que deberán contener los minerales provenientes de las rocas y las asociaciones orgánicas propias del ambiente de depósito, por lo que es posible determinar las características prevalecientes que dieron lugar a las rocas resultantes y definir las zonas que permanecieron por arriba y por debajo del nivel de las cuencas de depósito.

Las placas tectónicas

Ya presentados los procesos de formación de las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, y los procesos a los que son sometidas cuando se encuentran en la superficie continental, así como los lugares más significativos en la República Mexicana y su importancia en asociación con yacimientos minerales en el Estado de Oaxaca, queda por explicar la dinámica de la tierra desde el punto de vista de la tectónica de placas para inferir el origen de la región oaxaqueña.

De acuerdo con Seyfert¹, en 1968 Jason Morgan introduce el concepto de "tectónica de placas" el cual denota que la corteza terrestre está dividida por placas con límites en cordilleras y trincheras oceánicas, fallas de gran magnitud y cadenas montañosas plegadas.

Las cordilleras que aparecen a la mitad de los océanos, como el Atlántico, corresponden a placas cuya expansión separan los límites continentales que los bordean. Las trincheras oceánicas como la de Perú-Chile, corresponden a límites de placas cuyo movimiento provoca que la placa oceánica se incruste por debajo de una placa continental y están asociadas a los arcos insulares o cadenas montañosas originadas a partir de eventos volcánicos o de deformaciones de los sedimentos marinos. Por otro lado, la Falla de San Andrés es un ejemplo de un límite de placas con desplazamiento lateral y la cordillera de los Himalaya es un ejemplo de límite de placas con plegamiento activo debido a la incrustación de la corteza oceánica en la corteza continental.

Un soporte adicional al concepto de tectónica de placas lo constituye el estudio de los movimientos telúricos, en donde se demuestra que los epicentros están asociados a los márgenes de las placas.

El territorio de México se ubica en la llamada Placa Continental Americana, limitada al oriente por la cordillera Mesoatlántica; al poniente por la placa de Baja California (asociada a la Falla de San Andrés); y al sur por las placas de Cocos y la Placa del Caribe. De éstas, por sus efectos en la parte centro-sur de la República, sobresale la Placa de Cocos, la cual corresponde a una placa marina cuyo movimiento la incrusta en la placa continental Americana a la altura de las costas de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Jalisco.

Historia del territorio oaxaqueño

La historia geológica del territorio oaxaqueño se remonta a los 1200 millones de años. Para apreciar la magnitud de esta cifra, considérese que la edad de la tierra se calcula en los 4000 millones de años, que los registros fósiles más significativos abarcan desde 600 millones de años de antigüedad y que una de las especies más antiguas de homínidos (*Australopithecus africanus*) se tiene calculado que existió hace "tan sólo" unos tres millones de años.

¹ Carl K. Seyfer and Leslie A. Sirkin, *Eart History and Plate Tectonics*, Harper & Row Publishers. New York, 1979.

La edad antes referida de 1200 millones de años corresponde a la que se ha calculado para las rocas metamórficas de la región de Nochixtlán, las cuales son agrupadas dentro del llamado Complejo Oaxaqueño. Se estima que estas rocas fueron derivadas de los depósitos sedimentarios producidos en una cuenca marina que se originó a partir del rompimiento de la antigua corteza continental y la distensión de placas con posteriores desarrollos de arcos insulares y zonas de márgenes continentales con subducción, lo cual trajo como consecuencia, además de la actividad ígnea, que emergiera el conjunto sedimentario a partir del plegamiento y cabalgamiento de estratos producido por el choque de placas.

De acuerdo con lo anterior, se estima que en esa época prevalecían formaciones montañosas de rocas sedimentarias asociadas a rocas ígneas, las cuales fueron expuestas al intemperismo durante periodos prolongados. Esto se pone de manifiesto si consideramos que las rocas que constituyen y sobreyacen a las rocas metamórficas, no tienen una continuidad litológica que haga suponer una continuidad cronológica, sino por el contrario, las rocas calcáreas y arcillosas que se presentan enseguida de las rocas metamórficas tienen edades del Paleozoico (Cámbrico-Ordovícico); tal es el caso de las que se presentan en la región de Tiñu.

Este ordenamiento implica una transgresión marina (invasión del mar hacia el continente) sobre las rocas metamórficas precámbricas, que sirvieron como base de una cuenca en las que se depositaron los sedimentos que originaron las rocas calcáreas y arcillosas e incluso las rocas metamórficas del Paleozoico como las de Acatlán. Esto hace suponer la existencia de eventos orogénicos que afectaron a una secuencia sedimentaria, durante y posiblemente antes del Paleozoico, y que posteriormente fueron expuestas por efectos de denudación de las capas que las sobreyacían.

La ausencia de continuidad de los depósitos sedimentarios en el periodo Devónico pone de manifiesto que las rocas calcáreas y arcillosas del Cámbrico-Ordovícico, fueron expuestas al intemperismo como efecto de una regre-

sión marina (levantamiento de la superficie marina o retirada del nivel del mar) durante aproximadamente 60 millones de años, ya que para el Misisípico nuevamente se registran depósitos calcáreos y arcillosos, lo cual nos señala la existencia de una nueva transgresión, sólo que ahora la base de la depositación cubrió buena parte de las rocas del Cámbrico-Ordovícico, tal como se registra en los afloramientos en Santiago Ixtaltepec.

Estos fenómenos de transgresión y regresión marinas, además de ser atribuidos a disturbios tectónicos, también indican la gran actividad de la dinámica terrestre, pues están asociados a fenómenos de rompimiento y expansión de la corteza, acompañada de convergencia y subsidencia de las placas existentes en aquella época y que se repitieron a fines del Paleozoico y principios del Mesozoico, en donde se ubica la existencia de un sólo gran continente conocido como "Pangea" (aproximadamente 200 millones de años), que 20 millones de años después, a finales del Triásico, iniciara la separación de su parte septentrional de la meridional y posteriormente, 65 millones de años después (a fines del Jurásico), se desarrolló la parte norte del Océano Atlántico y se inició la apertura en su parte sur. Para fines del Cretácico, hace 65 millones de años, se ensanchó formalmente el Océano Atlántico.

En el Estado de Oaxaca, durante el Triásico, se llevó a cabo una emersión parcial del territorio en forma de islas o península, que después quedó emergida en parte durante la invasión marina de la porción central del país en el Triásico Superior (hace 200 millones de años). En esta época la región de la Mixteca Oaxaqueña tenía la presencia de un área continental aparentemente sin sufrir invasiones marinas, de tal manera que el proceso erosivo llega a ser dominante durante aproximadamente 30 millones de años (en el Jurásico Inferior). Posteriormente se registran evidencias de la existencia de un ambiente mixto de depositación representado por alternancias de rocas de origen continental con rocas de origen marino. Las rocas carbonosas de la porción de Mixtepec indican condiciones semicontinentales o lagunares. Así mismo, tal parece que la estabilización de los ambientes de depósito se presen-

tan como consecuencia de eventos orogénicos ocurridos en el Jurásico Superior, lo cual provocó que las rocas emergieran y quedaran expuestas a francos ambientes continentales como se deduce por la falta de continuidad cronológica al carecer de formaciones de rocas de esta edad y del Cretácico Inferior; es decir, las rocas del Jurásico Medio subyacen a las del Cretácico Medio, como en la región de Tezoatlán.

Durante el Cretácico Inferior (aproximadamente hace 100 millones de años) el mar invadió de nuevo la tierra firme llegando a afectar gran parte de la región central del Estado de Oaxaca, tal y como muestra la presencia de calizas cretáceas en las zonas cercanas a Puerto Angel. Al respecto, se ha considerado que en esta época los océanos Atlántico y Pacífico llegaron a estar unidos. Este fenómeno se presentó hasta finales del Cretácico, ya que para inicios del terciario (hace 70 millones de años) el territorio

Mexicano se vio afectado por otro evento tectónico que provocó una emersión del continente separando definitivamente ambos océanos.

En el periodo Terciario, el territorio de Oaxaca se caracterizó por la presencia de intensa erosión y actividad ígnea, que trajo como consecuencia los depósitos sedimentarios continentales clásticos, asociados a rocas volcánicas, tales como se presentan en las regiones de Huajuapán y Yanhuitlán.

Finalmente, en el periodo Cuaternario que tiene de referencia un millón de años, predomina la erosión produciendo depósitos sedimentarios escasamente consolidados. En el periodo actual el proceso erosivo continúa; sin embargo, interviene un factor adicional que altera el ambiente y que acelera la dinámica terrestre, que es el factor humano 

Bibliografía

- BAZAN, B. Sergio, *Génesis de las Pegmatitas del Arco Insular de Telixtlahuaca*, en Revista GEOMIMET, No. 148, Julio-Agosto de 1987, pp 56-60.
- *Evolución Geodinámica del Basamento del Golfo de México y sus Implicaciones*, en revista GEOMIMET, No. 185, Septiembre-October de 1993, pp. 49-73.
- KRUMBEIN, W.C. y LL. Sloss, *Estratigrafía y Sedimentación*, UTEHA, México, 1969.
- LONGWELL, R CHESTER y Richard Flint F., *Geología Física*, Edit. LIMUSA, Mexico, 1979.
- LÓPEZ, R. Ernesto, *Geología de México*, Tomo III, 1981.
- ORTEGA-G. Fernando, *et al., Quinta Edición de la Carta Geológica de la República Mexicana*, Instituto de Geología de la UNAM, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, México, D.F., 1982.
- SALAS, Guillermo P., *Carta y Provincias Metalogenéticas de la República Mexicana*, Consejo de Recursos Minerales, México, 1980.
- Selecciones de Scientific American: "Deriva Continental y Tectónica de Placas", 2ª edición, H. Blume ediciones, Madrid, 1978.
- Sociedad Geológica Mexicana: "Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca", México 1970.
- TURNER, Francis J. y Jean VERHOOGEN, *Petrología Ignea y Metamórfica*, OMEGA, Barcelona, 1978.