

CONTRIBUCCION A LA HISTORIA DE LA GEOLOGIA EN MEXICO

Ernesto López Ramos.*

R E S U M E N

Se hace un análisis del desarrollo de la geología en México. El abarcar un tema tan amplio en poco espacio, con tanta información disponible se considera una tarea de grandes dimensiones. Se tratará de hacerlo dividiendo las ciencias geológicas en las siguientes áreas: Geología Económica, Geología del petróleo, Geohidrología y Edafología, Geotermia, y Energía Nuclear. Debe decirse que las ciencias geológicas estudiadas ahora por ingenieros geólogos deben dividirse en dos partes cuando menos: el área de investigación del área de operación, en esta última participan también los agrónomos, ingenieros mineros, paleontólogos e ingenieros civiles. Se podría indicar los casos de localización de una presa, una cimentación de cualquier tipo o el trazo de una carretera, donde intervienen tanto el ingeniero geólogo como el ingeniero topógrafo, agrónomo, civil, etc. Entonces es el Geólogo quien debe disponer de un panorama científico y técnico más amplio que lo capacitaría para ser el coordinador de cualquier proyecto donde intervendrán los estudios geológicos. Se explica el estado actual de nuestros conocimientos en las ramas geológicas en los capítulos de Cartografía Geológica, Libros y Publicaciones y Apoyo Pedagógico.

Los países con alta tecnología, disponen de un abundante personal dedicado a las Ciencias de la Tierra incluyendo geofísicos, por lo que es evidente que nuestro país debe capacitar personal especializado en estas ciencias en el número necesario para satisfacer las demandas que solicitan tanto las industrias y empresas como universidades e institutos técnicos.

Este ensayo sobre la evolución y realizaciones de la geología en México, puede considerarse como la base de lo que se espera de las Ciencias de la Tierra, para un futuro mediano que podría considerarse el siglo XXI.

Las expectativas de la electrónica se adaptarán a las necesidades del tiempo y el estado de avance que se encuentre la exploración y el desarrollo de estudios pedagógicos inherentes. Un aspecto importante de los estudios geológicos realizados en México, es que los resultados de las investigaciones tienen un mínimo de aplicación, excepción en ciertos aspectos de la exploración petrolera.

Debe indicarse que la observación directa de las rocas y fósiles por los geólogos es y seguirá siendo vigente en los tiempos por venir, ya que los estudios electrónicos nunca podrán desplazarla.

**Instituto de Geología, U.N.A.M.*

INTRODUCCION

Pretender desarrollar el tema de este estudio se antoja una tarea gigantesca a veces fuera de toda pretensión de realizarla, aún en forma resumida. Sin embargo, se podrá hacer un ensayo sobre la Geología de México y describir las diferentes fuentes de información que ayudarán a tener un aspecto general de ella.

La geología en México, prácticamente se inicia con la fundación del Real Seminario de Minería el año de 1792 (Tacuba No. 5), la que posteriormente fue la Escuela Nacional de Ingenieros y finalmente parte de la Facultad de Ingeniería.

Debe indicarse que México ya era un país Minero antes de la conquista (1521) y los siguió siendo posteriormente a ella cuando se descubrieron grandes minas de oro y plata en Oaxaca Hidalgo, Guanajuato, y Zacatecas.

Con el Real Seminario de Minería se inicia el estudio científico de los minerales y rocas que continuarían en el siglo XIX, aunque entorpecidos por los conflictos sociales de las revoluciones de independencia, así como las guerras internas, la Reforma y la Intervención Norteamericana y desde luego, nuestra Revolución de 1910.

Una etapa importante en el estudio de nuestros recursos naturales fue la presencia del sabio alemán Alexander Von Humboldt (1803-1804) en su recorrido por el territorio nacional. Estudió sólo 4 distritos mineros principales (de oro y plata), la geomorfología del centro del país, visualizando la alineación de los volcanes en el

paralelo mexicano, lo que posteriormente se consideraría como el Eje Neovolcánico. Fue de los primeros en comprender la importancia de la geología aplicada a la ingeniería, especialmente el problema de las inundaciones para la Ciudad de México.

Fue también de los primeros en diseñar los perfiles geológicos, de sus recorridos por el país que aparecen en su Atlas Geográfico y Físico del Reino de la Nueva España y fue dado a conocer en Europa. Seguramente su herencia a nuestro país está vertida en su gran obra "Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España".

A fines del siglo pasado, con una población del orden de 13 millones de habitantes y falta casi absoluta de universidades para las Ciencias de la Tierra, nuestro país subsistió como un país agrícola.

Aunque en la segunda mitad de ese siglo empezó el despeque de la geología mexicana, ésta estuvo prácticamente subordinada a los estudios mineros; no fue sino a principios del siglo XX con el advenimiento de la geología petrolera, cuando se empezó el avance impresionante de las Ciencias de la Tierra; la geología y paleontología hicieron su aparición en forma comercial, igualmente que la geofísica que se desarrolló paralelamente a la geología petrolera. En la primera parte de los años 40 se inicia formalmente la construcción de las grandes presas y carreteras donde la geología aplicada realizó amplios logros. Al final de la época de los 60 se inició el estudio comercial de la fotointerpretación y se cristalizaría el gran

proyecto de Juan Puig de la Parra (1961), de formar la Dependencia Paraestatal de CETENAL (actualmente Dirección de Geografía de la S.P.P.). Desde principios de los 70 a la actualidad, Petróleos Mexicanos, Mexicanos, la Comisión Federal de Electricidad, Consejo de Recursos Minerales, el Instituto de Geología y la Secretaría de Recursos Hídricos, dieron un sorprendente impulso a las ciencias geológicas con un estudio total de la República Mexicana vertido en las Cartas Geológicas Esc. 1:2,000,000 realizadas por el Comité de la Carta Geológica de la República Mexicana.

DESARROLLO DE LA GEOLOGIA

a) Instituto de Geología.

Puede considerarse como un verdadero acontecimiento la etapa de la fundación del actual Instituto de Geología el año de 1886, ya que es de las pocas instituciones científicas que ha sobrevivido más de 100 años a nuestra tormentosa vida revolucionaria. El año de 1906, conjuntamente con el inicio de la vida institucional de la Sociedad Geológica Mexicana, es fundado el hermoso edificio del Instituto Geológico de México que fue construido exprofeso para sus funciones y que sobrevive actualmente (Calle Torres Bodet # 176) como Museo Geológico y Paleontológico del Instituto Geológico. Es innecesario narrar la importancia del Instituto ya que fue el Alma Mater de numerosas generaciones de geólogos y

paleontólogos que se formaron en su seno. Debe mencionarse que en el conjunto de publicaciones salidas del Instituto está inscrita la gran labor desarrollada por famosos científicos, tanto mexicanos como extranjeros y que fueron los primeros en visualizar los aspectos prácticos de sus investigaciones con la aplicación del resultado de éstas. Su labor cartográfica no tiene precedente según se aprecia en la etapa de cartografía geológica.

b) Geología Minera.

Después de la conquista de México, la búsqueda de yacimientos minerales se incrementó notablemente por los españoles primero y sus descendientes (mestizos) después. Así fueron descubiertos grandes distritos mineros como los de Taxco (plata), Pachuca (plata y oro), Guanajuato en la famosa mina de la Valencia (oro y plata), Zacatecas (plata y oro), Concepción del Oro (oro), los grandes yacimientos de Durango y Chihuahua que, aportaron principalmente minerales preciosos, gran parte de éste era enviado a España inclusive después de la Independencia de México.

Nuestro país aunque tiene yacimientos de fierro, cobre, manganeso, zinc, antimonio y mercurio, no se ha destacado notablemente en su producción. En cambio, somos exportadores de minerales no metálicos como azufre, grafito, caolín, fluorita y otros. Disponemos de formidables reservas de caliza (para la elaboración de cemento y cal) así como yeso y

carbón que no se ha cuantificado en su totalidad. Debe indicarse la importancia de la búsqueda de minerales de los que carecemos a escala comercial como níquel, aluminio, titanio, cadmio, bismuto y otros. De los minerales preciosos se encuentra el platino.

Como una muestra de nuestro potencial minero de minerales metálicos (algunos estratégicos) y no metálicos, se anexa la tabla No. 1 aunque parcial está actualizada, donde se advierte nuestra potencialidad económica. Debe indicarse que nuestro país tiene todavía el primer lugar en la producción de fluorita y nuestras reservas de yeso y caliza son prácticamente inagotables.

A pesar de que nuestros gobiernos disponían de una dependencia encargada de los yacimientos minerales, no fue sino hasta las décadas de los 40 y 50 en este siglo, cuando se establecieron los comités directivos para la investigación de los recursos minerales, y posteriormente, lo que constituye actualmente el Consejo de Recursos Minerales; los cuales dispusieron de geólogos e ingenieros, quienes publicaron las experiencias de sus trabajos en boletines y memorias que describen la evolución de los conocimientos en las diferentes áreas de desarrollo. Con motivo del XX Congreso Geológico Internacional realizado en México (1956), Genaro González Reyna editó su trabajo "Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México" quien hace una notable reseña de la geología y explotación mineras de todo el país, presentando magníficos mapas e ilustraciones de la distribución de yacimientos minerales y no metálicos. Muchos de estos mapas están vigentes actualmente.

Aunque la aportación de nuevos yacimientos no ha sido significativa (excepción de Sonora y Sinaloa), si se tiene un volumen de trabajos muy considerable parte del cual editó el Ing. Guillermo P. Salas en el libro "Geología Económica de México" (1988), con la contribución de más de 70 coautores. Este trabajo aunque no contiene todo lo que se esperaba, sí es la primera contribución formal a este tipo de estudios en nuestro país.

c) Geología Petrolera.

A principios del siglo se inicia el desarrollo de la industria petrolera por las compañías extranjeras, así se fueron descubriendo sucesivas áreas productivas como Ebano Pánuco (1901), Faja de Oro (1908), Poza Rica (1930) y los pequeños campos de la zona sur en área de Coatzacoalcos.

Aunque nuestro país fue el segundo productor de aceite en el mundo (1921), no fue sino hasta la expropiación petrolera (1938), cuando se inició, el avance impresionante del estudio de los recursos petroleros en prácticamente todo el país y tiene su culminación en la década de los setenta (1971-1972) con el descubrimiento de los grandes yacimientos de Reforma (Antonio J. Bermudez) y posteriormente, los de la Sonda de Campeche.

Centenares de brigadas geológicas superficiales recorrieron primero las áreas conocidas con hidrocarburos, como la planicie costera, posteriormente con la ayuda de la geofísica se programaron áreas submarinas y después se

TABLA NO. 1

PRODUCCION MINERA Y PETROLERA MEXICANA

MINERALES METALICOS

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Tons.	Lugar de México en el mundo.
Antimonio	2519	3064	4266	3337	2839	2185	Tons.	3º
Arsénico	3452	4164	4782	5315	5304	5264	"	4º
Bismuto	545	433	925	749	1012	958	"	2º
Cadmio	642	571	734	1183	1249	1726	"	4º
Cobre	-----	-----	-----	-----	-----	263	"	--
Mercurio	221	384	394	185	124	345	"	5º
Estaño	-----	-----	-----	-----	-----	274	"	--
Molibdeno	5866	4054	3761	3350	4400	4400	"	5º
Oro	-----	-----	-----	-----	7600	9098	KG	--
Plata	1910839	1986690	2152959	2303142	2414954	2358907	KG	1º
Plomo	167000	183000	207000	183000	177000	171337	TONS	5º
Tungsteno	-----	-----	-----	-----	-----	206	"	--
Zinc	257000	290000	257000	271000	271000	262228	"	5º

MINERALES SIDERURGICOS

Fierro	-----	-----	-----	-----	-----	5564492	TONS	5º
Manganeso	-----	-----	-----	-----	-----	163573	"	
Carbón Mi	-----	-----	-----	-----	-----	4210842	"	
Coque	-----	-----	-----	-----	-----	2332245	"	

MINERALES NO METALICOS

Azufre	1602000	1826000	2020000	2051000	2304000	2138240	TONS	
Barita	357000	426000	468000	321000	401000	534954	"	
Caolín	-----	-----	-----	-----	-----	11633	"	
Calestita	17237	31991	32320	24042	47739	-----	"	
Dolomita	-----	-----	-----	-----	-----	340671	"	
Fluorita	557000	627000	697000	757000	724000	534954	"	1º
Grafito	44000	42000	35000	38000	38000	43631	"	

PETROLEO

2400000 barriles/Promedio

Fuentes de Información:

GEONIMET No. 156 Nov.-Dic.1988 Y

SEMIP 1989 (SRIA.DE ENERGIA MINAS E
INDUSTRIAS PARAESTATALES.

cubrió casi todo el territorio nacional desde el Altiplano, las Mesas del Norte, Baja California y las porciones escarpadas de la Sierra Madre Oriental, Sierra de Juárez, Sierra de Chiapas y el Altiplano Mexicano. Conjuntamente con el avance de los Estudios estratigráficos se incrementaron los estudios paleontológicos (micro y macrofósiles) así, como la paleobotánica. Todo esto fue posible, por la fortuna de contar con grandes recursos económicos, la labor de centenares de geólogos, paleontólogos y geofísicos egresados de 8 escuelas de geología en el país y que proporcionan elementos jóvenes y bien preparados para entrenar y sustituir a los que han cumplido su tarea y que se han retirado de su actividad profesional. Sin embargo, dejaron un testimonio palpable de su actividad profesional, a su paso por Petróleos Mexicanos, al haber descubierto cuantiosas reservas de hidrocarburos, que se siguen desarrollando principalmente en el sureste de México y la porción marina del Golfo de Campeche.

Debe decirse definitivamente, que es en la dependencia de Exploración de Petróleos Mexicanos donde se realizan los estudios geológicos más serios y completos. Asimismo, debe indicarse que en sus 50 años de trabajos han llevado a cabo distintas etapas en las técnicas exploratorias: desde los primeros trabajos con fosas que se realizaban en el SE de México (Veracruz, Chiapas y Tabasco), pasaron a estudios de geología superficial en la planicie costera del Golfo de México, después en la Sierra Madre Oriental, siguieron estudios de

fotointerpretación con verificación de campo y finalmente ya con el estudio de la DETENAL (S.P.P.) sobre la cartografía aérea fotogeológica, se integraron áreas inmensas de trabajo con la subdivisión en subprovincias geológicas. A lo anterior hay que agregar el notable adelanto en información de subsuelo por los pozos perforados y las nuevas técnicas de geofísica de exploración con sus registros tridimensionales y a colores.

Un capítulo especial deberá dedicarse al Instituto Mexicano del Petróleo quien se encarga del área de investigación, con la información adicional de los datos de operación de la matriz que es PEMEX.

d) Geohidrología y Edafología.

A través de diferentes dependencias gubernamentales ya en este siglo, se inicia el estudio de las corrientes acuíferas, principalmente los ríos, donde se proyectaron grandes obras de riego, tanto de presas como canales. En estos estudios intervinieron primero los ingenieros civiles y agrónomos y posteriormente geólogos en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.) y la Comisión Federal de Electricidad. Ha sido notable la construcción de grandes presas donde el estudio geológico por sondeo y la estratigrafía y tectónica de las cuencas de captación fueron decisivas para el éxito de los proyectos que casi siempre estaban sincronizados con la instalación de grandes obras hidroeléctricas en todo el país.

Anteriormente los estudios topográficos eran muy rudimentarios, actualmente se utilizan fotografías aéreas e imágenes de satélites a fin de localizar, en el menor tiempo posible, los lugares apropiados para construir las cortinas y presas, así como para estudiar la litología de los vasos de las presas a fin de tratar de evitar posibles fugas subterráneas de agua.

Ya localizadas y puestas en operación las obras hidráulicas, un paso muy importante para cualquier proyecto es el estudio de la litología y química de los suelos (edafología) su clasificación y las recomendaciones del agrónomo, para proponer determinado tipo de cultivo, así como la clase de fertilizantes que deberán usarse.

e) Geotermia.

Los procedimientos exploratorios en busca de energía térmica, procedentes de vapor de agua del subsuelo, son relativamente sencillos: se trata de localizar focos térmicos superficiales en forma de emanaciones naturales de vapor de agua, lodo, etc., lo cual se completará con estudios geofísicos, geológico superficial, de isotermas y, según el cuadro geológico regional realizar perforaciones en busca de yacimientos de vapor de agua que generalmente están conectados con rocas ígneas calientes que transforman el agua meteórica en vapor sobrecalentado varios cientos de grados centígrados, el cual cuando se extrae con equipo y tuberías de perforación especiales que se pueden conectar a plantas que se construyen

de acuerdo con la especificación del vapor, las cuales mueven grandes turbinas para generar electricidad.

El primer campo geotérmico de nuestro país, fue el de Pathé, Hidalgo, aunque experimental, producía 5,000 kw al día y fue descubierto el año de 1955. En la década de los sesenta prosiguieron las exploraciones descubriendo el gran campo de Cerro Prieto, B.C.N. con pozos de baja profundidad que tienen como basamento granitos calientes en contacto con aguas meteóricas que producen vapor de agua hasta 170 C., actualmente (1988) produce 193,000 kw/d. Posteriormente, en los años 80 se localizaron las provincias geotérmicas de Ixtlan de los Hervores y los Azufres, Mich., así como La Primavera, Jal. y Húmeros, Pue. Debe indicarse que un campo geotérmico necesita cuando menos 7 años de desarrollo para calibrar su potencialidad productiva. El porvenir de nuestro país para futuras plantas electrogeotérmicas es halagador, pues existen cuando menos 20 prospectos con magníficas perspectivas económicas.

No hay duda que en futuras exploraciones y perforaciones darán como resultado nuevas áreas de trabajo, desde luego es indispensable realizar muestreos superficiales tanto del grado geotérmico, como del análisis químico de gases y vapores que salgan de la tierra.

En el libro Geología Económica de México (Salas et. al., op. cit.) varios geólogos del Departamento Geológico de la Comisión Federal de Electricidad, hacen diferentes estudios de

distintos campos geotérmicos en la República Mexicana.

f) Energía Nuclear.

Localización de yacimientos uraníferos.

Uranio. Es el principal elemento radioactivo que está presente en numerosos compuestos en la naturaleza, aunque es fácil detectarse se encuentra en cantidades muy pequeñas. Casi todo el uranio ya explorado se ha acumulado en la parte superior de la litosfera y de manera preferente en rocas ácidas o felsíticas, considerando que las rocas sedimentarias sólo contienen la mitad del uranio que aparece en las ígneas (ácidas).

Nuestro país, en la década de los cincuentas, se incorporó a las naciones que estudian y desarrollan la energía atómica y nace por decreto presidencial del 19 de diciembre de 1955 la entonces Comisión Nacional de Energía Nuclear. En enero 29 del año 1979, al desaparecer el instituto se crea Uranio Mexicano (URAMEX); con objeto de ser el agente exclusivo del Estado Mexicano para explorar, explotar, beneficiar y comercializar minerales radiactivos.

El uranio es, el elemento fundamental que ha puesto a disposición del hombre una vasta fuente energética. Desde hace cinco décadas, los minerales de uranio han adquirido una importancia económica y estratégica que crece día con día y que es vital para el futuro inmediato. En general, se estima que el papel

del átomo en el balance energético mundial comenzará a ser relevante en la década de los ochentas. En 1970, la potencia electronuclear instalada representaba menos del 1.5% del conjunto de la eléctrica y para los fines de los ochenta, la electricidad de origen nuclear podrá ser de un 20 a un 30% de la producción eléctrica total.

Aunque más del 90% de las reservas mundiales de uranio se localizan en formaciones sedimentarias, la naturaleza ha sido pródiga con nuestro país, al depositar en rocas volcánicas las principales mineralizaciones de uranio que se conocen actualmente en la Sierra Madre Occidental, principalmente en el Estado de Chihuahua.

Las formaciones sedimentarias de las planicies Texas donde hace más de 15 años se han explorado yacimientos, se continúan en estructuras similares al noreste de nuestro país en el Estado de Tamaulipas, y aunque en este medio nuestras reservas son de importancia, los depósitos en volcánicas han despertado interés mundial.

Nuestros geólogos y numerosos profesionales de otros países conocen nuestros depósitos de uranio en rocas volcánicas, consideran que los importantes descubrimientos de la Sierra de Peña Blanca, Chih. y zonas vecinas es sólo un indicio del potencial de minerales uraníferos que se pueden considerar en esta zona, y que la investigación realizada hasta la fecha ha comprendido una exploración somera, a profundidades no mayores de 100 m que han

revelado afloramientos superficiales de las mineralizaciones de uranio existentes.

En los Estados de Durango y Chihuahua, las localidades uraníferas están íntimamente relacionadas en sus aspectos geológicos y corresponden principalmente a rocas volcánicas ácidas de tipo extrusivo. Adicionalmente a estos importantes descubrimientos, se han encontrado en esta zona yacimientos de uranio en rocas sedimentarias carbonatadas, en asociaciones con otros metales, como es el molibdeno.

Esta faja sedimentaria al oriente de México cubre una amplia región de los Estados de Nuevo León y Tamaulipas. La similitud geológica de esta zona con la texana ha permitido una exploración definida en la llamada Cuenca Sedimentaria de Burgos, encontrándose importantes depósitos en una superficie aproximada de 30,000 km². El estudio de los yacimientos sedimentarios de uranio amerita considerar en este marco de operaciones, otras regiones similares en las planicies costeras de México, en los Estados de Sonora, Sinaloa y Baja California Sur, en el Pacífico y además, en otras regiones de San Luis Potosí, Durango, Zacatecas y Coahuila que presentan sedimentos con posibilidades de contener mineralizaciones de uranio.

En la región de Oaxaca se han localizado también rocas volcánicas y sedimentarias dentro de una compleja estructura geológica que se prolonga y cubre algunas áreas de Puebla, continuándose al sureste en un macizo volcánico con regiones costeras sedimentarias, que permiten conjuntar diversos tipos de formaciones

geológicas con características favorables de acumulaciones minerales radiactivas.

En el mismo Estado de Chihuahua se tiene otro depósito más importante en reservas y como se mencionó anteriormente, por la especial configuración de sus depósitos en rocas volcánicas. Se localizan en la Sierra de Peña Blanca los importantes yacimientos de El Nopal, Margaritas, La Domitila y Los Puertos, además en Sierra de Gómez que corre paralela al este de Peña Blanca y en donde se tienen ya minas en proceso y una gran cantidad de localidades uraníferas con importantes recursos de este mineral.

Los programas de exploración en esta extensa zona de la Sierra Madre Occidental, se han prolongado principalmente al norte y noroeste de las localizaciones conocidas. Se tienen aproximadamente 120 anomalías entre el importante yacimiento últimamente explorado de Laguna del Cuervo y la mina El Nopal, en una distancia lineal de 20 km.

A 50 km al norte del yacimiento de la Laguna del Cuervo, las exploraciones han detectado otra importante localidad uranífera llamada Víboras que confirma la continuidad del tren de mineralización similar, que corre sobre la Sierra Madre Occidental.

MINERALES RADIATIVOS PRINCIPALES

El uranio nunca se encuentra en la naturaleza como elemento, sino en forma de compuestos, especialmente con el oxígeno, en concentraciones de los magmas residuales.

Existen más de 110 especies mineralógicas que contienen uranio y elementos radioactivos, pero los 3 únicos minerales primarios que se han formado a partir de soluciones hidrotermales que provienen de capas profundas de la corteza terrestre son las siguientes:

Uraninita: Oxido cristalino de uranio, Pechblenda: Oxido amorfo de uranio, Davidita: Oxido de titanio, de los metales de las tierras raras y de uranio.

EXPLORACION

Los métodos tradicionales con el contador Geiger para localizar minerales radioactivos han sido desplazados por procedimientos más modernos, así el Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) utilizó un avión especial en el cual se han instalado alrededor de 16,000 cm³ de cristales de yoduro de sodio, activadas con talio, para la detección de anomalías radiométricas desde el aire, registradas con un espectrómetro gama de cuatro canales. El primero de ellos se utilizó para la detección de potasio 40 de las rocas; el segundo, para el conteo total de la radiación emitida o registrada; el tercero, para la detección del bismuto 214, que por ser un miembro de la cadena radioactiva de 238 que permite inferir sobre la abundancia de este elemento y por último, el canal cuatro se utiliza para detectar el talio 232. Todos estos datos y otra información especializada quedan registrados en cintas magnéticas que posteriormente se procesan en los servicios de computación del Centro Nuclear,

para su análisis y trazado de curvas de igual nivel de radiación para cada elemento. Posteriormente a este estudio se realiza el muestreo superficial, donde se hacen las perforaciones necesarias para cuantificar objetivamente las áreas de minerales radioactivos.

Es lamentable que con la desaparición de URAMEX (1983), también fueron suspendidas las exploraciones en busca de minerales de uranio. Si nuestro país se incorpora a la producción de energía nucleoelectrica será necesario reanudar la búsqueda de minerales uraníferos para no depender de otros países para su beneficio.

ESTUDIOS DE APOYO.

1.- Cartas Geológicas.

La representación gráfica de la información de geología submarina, superficial y de subsuelo, vertida en planos o cartas de diferentes escalas, ha sido una necesidad que se inició con la aplicación de las ciencias geológicas en los distintos aspectos de la vida de los pueblos, sobre todo en los últimos 200 años. Después de la fundación del Colegio de Minería, la geología y cartografía mexicanas fueron desarrollando los trabajos cartográficos y geológicos con bases más ordenadas y científicas.

Como se indicó en la introducción, a principios del siglo XIX, en el año de 1804, el gran naturalista alemán Alejandro de Humboldt, autor del "Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España", realiza grandes recorridos por nuestro

país y elabora una carta topográfica titulada "Carte General du Royaume de la Nouvelle Espagne", la cual es dibujada en la escuela de Minas y publicada en el año de 1811, con lo que hace una reseña de nuestros recursos naturales. En ese tiempo la división política de la Nueva España estaba dividida en provincias e intendencias.

Uno de los primeros impulsores de la geología y cartografía modernas fue el Ing. Andrés Manuel del Río quien de 1795 a 1805 publicó diversos trabajos sobre la geología de minas, así como una obra sobre la geología de México. Años más tarde, Don Antonio del Castillo, en el año de 1860 publica su trabajo "Riqueza Minera de la República", obra importante precursora de "La Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México". (1a. Edición, 1944), de J. González Reyna.

La Sociedad de Geografía y Estadística, publica en el año de 1871 el estudio de Orozco y Berra "Materiales para una Cartografía Mexicana", en el que aparecen mapas de varios estados de la República.

Mariano Bárcena (1885) en su "Tratado de Geología" fue el primer autor mexicano en clasificar los rudistas y amonitas mesozoicas en nuestro país con ejemplares mexicanos, antes que muchos estratígrafos extranjeros, especialmente estadounidenses, ya que no fue hasta 3 años más tarde que se fundaría el Instituto de Geología y la Geological Society of America.

Uno de los trabajos más trascendentes de fines de siglo pasado (año de 1896) fue el de K.

Sapper titulado "Sobre la Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán", que fue publicado por el Instituto Geológico de México (Boletín No. 3), que sirvió de partida para estudios posteriores sobre esta parte del país, prácticamente inexplorada entonces desde el punto de vista geológico; posteriormente, el de R. Aguilar y M. Santillán (1898) sobre la bibliografía geológica y minera de la República Mexicana; Don Ezequiel Ordoñez juntamente con su maestro y protector Don Antonio del Castillo formaron parte de la Comisión Geológica, los cuales elaboraron la segunda Carta Geológica de la República Mexicana, publicada en el año de 1899. Finalmente, el completo estudio del sureste de México: Reseña de la Geología de Chiapas y Tabasco, Bol. 20 (1905) por E. Bose, el cual presenta un magnífico plano geológico para aquellos tiempos, Esc. 1:1,000,000, de la región estudiada.

Con motivo del X Congreso Geológico Internacional realizado en México en el año de 1906, se llevaron a cabo diferentes estudios geológicos en los que participaron el famoso geólogo suizo C. Burckhardt así como S. Scalia, con algunos mapas geológicos especialmente de las regiones centro y norte de México como la de Zacatecas, en la que intervino otro geólogo mexicano que llegó a ser Director del Instituto de Geología, Don Teodoro Flores.

Es curioso indicar que los trabajos del X Congreso Geológico Internacional, incluyendo el estudio de Zacatecas, llevara el título y leyenda en francés (Carte Geologique des Environs de Zacatecas, 1905) y contaba con control

altimétrico (Isohypsas) cada 10 m. Debe mencionarse a Don Juan Villarello que en año de 1909 (Bol. 26) presentó uno de los primeros informes sobre geología petrolera que se realizó en México.

Fue en el año de 1905 y siendo Director del Instituto Geológico el Sr. José G. Aguilera, cuando se publicó formalmente la "Carta Geológica General de la República Mexicana" Esc. 1:5,000,000, al mismo tiempo nueve cartas metalogenéticas e hidrológicas. Hasta el advenimiento de la Revolución Mexicana (1910) y a pesar de que se siguieron realizando publicaciones hasta 1913 era cuando la geología y cartografía mexicana se destacaba en el mundo, ya que para ese entonces y con motivo de la construcción de diferentes líneas ferrocarrileras nuestro país contaba ya con triangulaciones geodésicas de primer orden, especialmente en la parte norte de México y la llámítrofe con los Estados Unidos de Norteamérica.

Hasta la consumación de la Revolución Mexicana en 1917, puede decirse que se cierra una etapa de la geología de México, principalmente de la minera que utilizaba planos de escalas muy pequeñas según la índole de sus necesidades; no fue hasta el año de 1921 (Cushman), que se aplicó la micropaleontología en forma comercial, cuando las compañías petroleras de México iniciaron la construcción de cartas geológicas regionales, ya nuestro país contaba con la Carta Geológica de México (1905). La información de las compañías, tanto mineras como petroleras, prácticamente permaneció inédita y fue muy

escasa su aportación en las Cartas Geológicas de México de 1937, Esc. 1:6,000,000, la de 1940 Esc. 1:3,000,000 y la de 1942 Esc. 1:5,000,000. Manuel Santillán, E. Ordóñez y Teodoro Flores intervinieron en las tres últimas que fueron las mejores.

Nuestro país presentó por primera vez una compilación geológica de las regiones petroleras de México, particularmente de la llanura costera del Golfo de México, incluyendo Chihuahua y Coahuila, Esc. 1:4,000,000 con motivo del XIX Congreso Geológico Internacional realizado en Argel, Africa, en el año de 1952 donde se acordó a propuesta de la delegación mexicana que se realizara en nuestro país el del año de 1956 y durante el cual se presentó por primera vez una Carta Geológica en Escala 1:2,000,000 en dos partes impresa en México. La aplicación de la fotogrametría y fotogeología en los últimos 40 años dió un impulso considerable a la calidad y detalle de nuestras cartas, habiendo iniciado la construcción de hojas Esc. 1:100,000 en el Instituto de Geología así como la serie geológica estatal Esc. 1:500,000, que sirvió de base al Comité de la Carta Geológica de la República Mexicana para sus ediciones escala 1:2,000,000 de 1956, 1960 y 1968, así como la que apareció en el año de 1976.

Las escalas de las cartas geológicas dependen del tipo y precisión de los trabajos en que se vayan a utilizar, los mapas mineros pueden tener escalas de: 1:100. a 1:1000. Los petroleros y de caminos de 1:20,000 a 1:50,000 y los estudios geológicos regionales de 1:100,000 a 1:1,000,000.

Existen muchos organismos de los mencionados como son: la Secretaría de Obras Públicas, la Sociedad de Geografía y Estadística, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, de Agricultura, la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), la Comisión de Energía Nuclear, la DETENAL (CETENAL), etc. etc. fundada por Juan Puig de la Parras en 1961, cuya contribución a la cartografía geológica mexicana ha sido y es valiosísima.

Los trabajos que México organizó con motivo del XX Congreso Geológico Internacional fueron de una magnitud considerable, ya que durante 4 años se prepararon más de 25 libros guías así como varias memorias y notas geológicas que consumieron una gran cantidad de tiempo y material.

Debe indicarse que en el año de 1980 el nombre de la DETENAL cambió a Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, la cual inició la impresión de la Carta Geológica de México Escala 1:1,000,000 en 8 hoja con el sistema de proyección cónica Lambert y a colores. Aunque se trata de un mapa fotogeológico y litológico, carece de leyenda de formaciones, tal como lo tiene la Carta Geológica de la República Mexicana (Ed. 1976), editado por el Comité de la Carta Geológica de la República Mexicana. También la Dirección de Geografía construye cartas de climas y mapas topográficos y geológicos a Escalas 1:250,000 y 1:50,000. La labor que se realiza es encomiable por todos conceptos ya que se cuenta con una superficie cubierta de más de un millón de km².

En la alborada del presente siglo inicia el desarrollo de la industria petrolera que da gran impulso a los mapas geológicos superficiales, geofísicos y de fotointerpretación para adoptar posteriormente en los años 70 los mapas electrónicos obtenidos por satélites, ya de fotografías a colores, de imágenes (LANDSAT), de radar infrarrojos, etc.

Esta revolución cartográfica se vió impulsada por la necesidad del uso de los mapas en toda actividad científica humana para su aplicación fundada por Juan Puig de la Parra en 1961, en la agricultura, ciencias naturales en general (bosques, suelos, recursos minerales etc.), el formidable impulso a la minería y la industria petrolera y desde luego a las comunicaciones de todo tipo.

En el Instituto de Geología una de las primeras actividades realizadas hace 100 años fue la elaboración de mapas y secciones geológicas relacionadas a los estudios geológicos que se realizaban ya de las rocas ígneas, de estudios paleontológicos, hidrológicos etc. A fines de siglo se construyó la 1a. Carta Geológica de México con información elemental para aquellos tiempos.

El autor durante 24 años consecutivos (1964-1988) ha realizado la compilación geológica, Esc. 1:500,000 de todos los estados del país, como miembro del Comité de la Carta Geológica de la República Mexicana y Técnico Académico del Instituto de Geología de la UNAM.

2. Libros y Publicaciones.

Una de las obras desafortunadamente poco conocida, es el "Tratado de Geología" ya citado de Don Mariano Bárcena, Profesor de Geología en la Escuela Preparatoria y de Agricultura de México y editado por la Secretaría de Fomento en 1885 (435 páginas y figuras) con los capítulos siguientes: Litología y Mineralogía, Geología Fisiográfica, Geología Histórica y Geología Dinámica, prácticamente todo lo anterior referido a nuestro país y desde luego con datos del extranjero. Lo anterior sería motivo de regocijo para los mexicanos, ya que esta obra es una de las primeras editadas en el continente americano, lo cual no sólo prestigia a nuestro país, por lo que este volumen de las Regiones Geológicas de México, conmemora un siglo de publicaciones de autores mexicanos, un honor que pocos países pueden celebrar.

Se presentan también, algunos antecedentes de otras obras que han aparecido sobre la geología de México. La primera se titula "Bosquejo Geológico de México" por J. C. Aguilera, E. Ordóñez y R. J. Buelna (1986). En la parte inicial de este trabajo se publicó por vez primera un bosquejo de una carta geológica de la República Mexicana a colores. El Ing. Antonio del Castillo empezó a formarla con datos sobre Geología de Minas desde el año de 1882, con motivo del Congreso Geológico realizado ese año en Bolonia, Italia; mapeó en forma muy general más del 60% de la República hasta 1887, en una carta Esc. 1:3,000,000 y se agregó información en los años de 1891, 1892 y 1893. Finalmente,

fue editada a Esc. 1:10,000,000 en el año de 1896. Con la ayuda del mapa se elaboraron varios perfiles de nuestro país con la descripción litológica, dándose preferencia a aspecto minero, geomorfológico y de petrografía de rocas ígneas. Aguilera describió en la segunda parte la "Sinopsis de la Geología Mexicana", R. J. Buelna realizó parte de los itinerarios Geológicos y E. Ordóñez de la tercera parte "Las rocas eruptivas".

Un estudio poco conocido en nuestro país es el libro de Freudenberg, W. (Geologie von México, 1921) escrito en alemán y traducido parcialmente al español, el cual no tuvo gran trascendencia debido a su poca difusión.

La tercera obra que apareció sobre el tema fue la Geología de México de B. Garfías y T. C. Chapin (1949) que presentó un resumen de la fisiografía y estratigrafía, con dos mapas paleogeográficos correspondientes a nuestro país, cuenta con muy poca información gráfica, aunque incluye un mapa geológico esquematizado de México, Esc. 1:5,000,000 en blanco y negro. La obra de 202 páginas de texto y el resto es bibliografía.

Un trabajo que es de gran trascendencia, que implica la secuencia de la geología petrolera mexicana, es el de Luis Benavides G. con el título de "Notas sobre la Geología Petrolera de México" publicado en el tomo III, América del Norte en simposium sobre yacimientos de petróleo y gas, (XX Congreso Geológico Internacional México, 1956).

La obra de solo 211 páginas con figuras y tablas, constituye una síntesis de la Geología

Petrolera Mexicana en sus 17 años de existencia (1938-1955) y muestra el esfuerzo considerable de nuestros técnicos de exploración es la industria más grande de nuestro país.

Los especialistas que leyeron este estudio consideran que el contenido rebasó con mucho el título de "Notas...". Para constituirse en una obra de consulta a la categoría de un libro con motivo del centenario del Instituto de Geología de la UNAM. (1886). La Sociedad Geológica de América (1888) la coordinación de exploración de Pemex, escribió un volumen actualizado sobre 50 años de trabajos en México. Este estudio está próximo a publicarse en español e inglés.

El cuarto libro formal fue un intento más amplio sobre Geología General y de México" (506 págs. y figs.) de E. López Amos, realizado en 1974, donde por primera vez aparece un estudio sistemático de la geología desde el Paleozoico hasta el Cuaternario además del léxico estratigráfico de las formaciones geológicas conocidas formalmente hasta esa fecha. El libro anterior sirvió de base al mismo autor para editar por primera vez el estudio de la geología de México en cuatro tomos, los cuales aparecieron en varias ediciones entre los años 1979 y 1987.

A continuación se hace un desglose de estas obras:

1.- Geología General. Tomo I. 6a. Ed. (1983) 357 págs, fotografías y figuras.

2.- Geología de México. Tomo II. 3a. Ed. (1985) 454 págs. y figs. (Porción Norte de México).

3.- Geología de México Tomo III. 3a. Ed. (1983) págs. y figs. (Porción Sur del país).

4.- Crónica de la vida de un Geólogo. Tomo IV. 2a. Ed. (1987) 290 págs. y figs.

En el año de 1984 la Secretaría de Programación y Presupuesto, División de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) hizo una pequeña publicación con el título de "Geología de la República Mexicana" de 80 páginas, incluyendo figuras a colores, que se elaboró con motivo de la Carta Geológica de la República Mexicana Esc. 1:1,000,000 editada por la propia INEGI en 8 hojas.

Para conmemorar el centenario de Instituto de Geología de la UNAM y la Sociedad Geológica de América (GSA), el Ing. Guillermo P. Salas como editor y 72 colaboradores publicaron por primera vez (1988) en un volumen "La Geología Económica de México" donde se presenta un panorama general del estado de nuestros conocimientos sobre la geología de minas y sus aspectos de producción y reservas hasta la fecha.

Respecto a publicaciones geológicas, casi todas las universidades, asociaciones e institutos y empresas descentralizadas cuentan con un departamento editorial que publica regularmente revistas, boletines y libros, que aunque son a veces temas especializados conviene tomar en cuenta.

3.- Educación y Asesoramiento Técnico.

El aporte de profesionales distinguido en el área de pedagogía en todos los niveles de educación superior y de post-grado, ha conducido a que la geología mexicana conjuntamente con la geofísica a que presenten un notable adelanto en el área latinoamericana. Debe dárseles crédito a centenares de maestros quienes nos enseñan y han transmitido su saber sin restricción alguna a los geólogos de campo, que en ocasiones son los más experimentados como los geólogos consultores y desde luego a los cuerpos directivos de las distintas dependencias y empresas paraestatales y privadas.

Es necesario reconocer la relevante labor del CONACYT, pues aparte de funciones para otorgar becas para estudios de postgrado su invaluable ayuda en las publicaciones científicas propias, así como de las distintas dependencias como universidades, académicas de ingeniería y ciencias de la Tierra.

BIBLIOGRAFIA.

- Aguilera, J.C.; Ordóñez y Buelna, N. J., 1896, Bosquejo Geológico de México: Instituto Geológico. Bol. 4-5, 267 págs. y figuras. Publ. Inst. de Geología.
- Bárcena, Mariano, 1885, Tratado de Geología: 435 págs. Elementos aplicables a la agricultura: Editorial Secretaría de Fomento. México.
- Encliso-De la Vega, S., 1988, Creación y evolución del Instituto de Geología, UNAM.; Ciencia y desarrollo Ed CONACYT N 81. Jul.-Agto. págs. 41-47.
- Freudenber, W., 1921, Geologie von Mexiko. (Geología de México). Traducción parcial al español por Hanz Boerner. Sólo 120 págs. Edición original en Berlin (Borntraeger 232 pp.).
- Garfias, Valentín y Chapin, T. C., 1949, Geología de México: 202 págs. y figs. Ed. Jus, México.
- González, R. Jenaro, 1956, Riqueza Minera y Yacimientos minerales de México: 3a. Edición. 497 págs., tablas, mapas y figs. Publicaciones XX Congreso. Geológico, Internacional. México.
- Instituto de Geología, 1946, Datos Históricos. 51 págs. Publicación Interna.
- López-Ramos, E., 1983-1987, Geología General y de México: Vols. I, II y III; Crónica de la Vida de un Geólogo. Vol. IV. Ed. Resendiz.
- , 1988, La Paleontología en México: 6 págs. Tomo XI, Enciclopedia de México y Sría. de Educación Pública. Mexico.
- Petróleos Mexicanos, 1988, La Industria petrolera en México. Una Crónica: 2 Tomos. Tomo I, 451 págs. y figs.; Tomo II, 487 págs. y Figs. Ed. petróleos Mexicanos.
- Salas, G.P. y otros, 1988, Geología Económica de México: 544 págs. (Figuras, mapas, tablas y secciones) Ed. Fondo de Cultura Económica. México.