

GEOLOGÍA (NA II)

Luca Ferrari¹
Dante Morán-Zenteno²
Enrique González-Torres²
Laura Luna-González³

Introducción

El mapa geológico escala 1:4,000,000 presenta la distribución de las principales unidades geológicas del país de acuerdo a su litología y edad. Este documento se ha elaborado a partir de la 5ª edición de la Carta Geológica de México escala 1:2,000,000 editada en 1992 por el Instituto de Geología de la UNAM y auspiciada por el Consejo de Recursos Minerales (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). Dicho documento ha sido digitalizado y adaptado para poder ser representado a la escala 1:4,000,000. Posteriormente se actualizó tomando en cuenta los principales avances en el conocimiento geológico del país que han sido publicados en los últimos 15 años, particularmente en lo que respecta a la geocronología de las rocas ígneas del Mesozoico y Cenozoico.

La subdivisión de las unidades geológicas en la leyenda es de tipo cronoestratigráfico, donde las rocas se distribuyen en las cuatro eras principales (Proterozoico, Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico) y posteriormente en Sistema, Serie o Piso. Dentro de cada intervalo cronoestratigráfico se han subdividido las unidades con base en su ambiente genético, diferenciándose rocas sedimentarias (marinas, continentales y mixtas), ígneas (volcánicas, intrusivas y volcanosedimentarias continentales o marinas) y metamórficas (donde solo se consideran las rocas producto del metamorfismo regional). Debido a la escala, en el presente mapa no se han incluido las estructuras tectónicas como pliegues, fallas y cabalgaduras.

Distribución geográfica de las principales unidades geológicas

El tipo de rocas con las mayores exposiciones en el territorio mexicano corresponde a unidades ígneas (intrusivas y extrusivas) y, en menor proporción, a unidades sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas dominan en la parte occidental, central y sur del país, donde forman las provincias magmáticas de la Sierra Madre Occidental, de la Faja Volcánica Transmexicana y de la Sierra Madre del Sur, respectivamente. Estos conjuntos ígneos se relacionan con la existencia, en la parte occidental de México, de una margen activa con subducción de placas oceánicas a partir del final del Paleozoico. En la región oriental del país existen extensas exposiciones de rocas sedimentarias, principalmente marinas del Mesozoico. Estas rocas forman la Sierra Madre Oriental y están también ampliamente expuestas en la región de Morelos, Puebla y Guerrero, así como en la Sierra de Zongolica y la Sierra de Chiapas. La Llanura Costera del Golfo de México, algunas zonas de Chiapas y la Península de Yucatán se caracterizan por extensas exposiciones de rocas marinas del Cenozoico. Las rocas marinas del Mesozoico y Cenozoico en el oriente de México expresan episodios de sedimentación relacionados con la apertura del Golfo de México y el establecimiento de una margen pasiva; su deformación, en cambio, se relaciona con los episodios de convergencia en la margen activa del occidente y sus repercusiones en el interior del continente. Las rocas metamórficas se encuentran principalmente en la margen oriental del Golfo de California, en Sonora y Sinaloa, y en la Sierra Madre del Sur, en su mayoría en Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Rocas proterozoicas. Las rocas más antiguas del país, tienen un rango de edades de 1,800 a 1,600 Ma correspondientes al Proterozoico inferior, son de tipo metamórfico y se encuentran en la parte noroccidental del estado de Sonora como continuación de los cinturones metamórficos antiguos del cratón de Norteamérica (Silver y Anderson, 1981; Iriondo *et al.*, 2004). Las rocas con edades de alrededor de 1,000 Ma del Proterozoico medio (Grenvillianas) afloran extensamente en Oaxaca central y en pequeños afloramientos en la Sierra Madre Oriental en Hidalgo y Tamaulipas. Estas rocas se han correlacionado entre sí, y se ha postulado que formaron un único bloque continental llamado "Oaxaquia" (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1995) el cual constituye actualmente el basamento de la parte oriental de México.

Rocas paleozoicas. Los más extensos afloramientos de rocas paleozoicas se encuentran en Guerrero y Oaxaca y están representados por el denominado Complejo Acatlán, un conjunto de rocas metamórficas y sedimentarias que se considera producto de una gran colisión continental entre Gondwana y Laurentia (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Talavera-Mendoza *et al.*, 2005). Otros afloramientos de rocas paleozoicas menos continuos se ubican en Baja California norte, Sonora, Sinaloa y Chihuahua, así como en núcleos de pliegues de la Sierra Madre Oriental en Tamaulipas e Hidalgo. Las rocas ígneas del final del Paleozoico (Pérmico) e inicio del Mesozoico (Triásico inferior) se distribuyen en una franja discontinua de afloramientos que definen un arco magmático en Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Coahuila, Chihuahua y Sonora (Torres-Vargas *et al.*, 1999).

Rocas mesozoicas. Están distribuidas ampliamente en casi todo el territorio. Rocas triásicas y jurásicas principalmente de tipo volcano-sedimentario de ambiente marino constituyen el basamento de varias regiones del país y afloran de manera discontinua principalmente en el noroeste (Sonora, Sinaloa,

Durango, San Luis Potosí y Zacatecas) (Niño-Samaniego *et al.*, 2005) y en la Sierra Madre del Sur (Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca) (Centeno-García *et al.*, 2003; Centeno-García, 2005). Las rocas ígneas jurásicas que afloran esporádicamente en Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, y Tamaulipas definen el llamado arco magmático de Nazas (Bartolini *et al.* 2003). Asimismo, existe registro de rocas metamórficas del Mesozoico, que en este mapa se incorporan, como las presentes en la región de Tejujico, Estado de México (Elias, 2004). En algunos núcleos de los pliegues de la Sierra Madre Oriental en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo, afloran rocas sedimentarias marinas del Jurásico Tardío que atestiguan los primeros episodios de sedimentación marina mesozoica relacionados con la apertura del Golfo de México. Las rocas cretácicas son esencialmente de tipo sedimentario marino en la mitad oriental del país y de tipo plutónico y volcanosedimentario en la parte occidental. Las primeras se encuentran formando grandes espesores de secuencias de calizas de plataforma o pelágicas que constituyen la mayor parte de la Sierra Madre Oriental, la parte oriental de la Sierra Madre del Sur y la Sierra de Chiapas. Las rocas magmáticas de arco, tanto continentales como marinas, subyacen a gran parte de la península de Baja California (Busby, 2004) y forman la base de la secuencia ígnea de la Sierra Madre Occidental (Ferrari, 2005) y de la parte occidental de la Sierra Madre del Sur (Morán-Zenteno *et al.*, 2005). En esta última región se encuentran también rocas volcano-sedimentarias continentales posteriores al levantamiento producido por la orogenia Laramide.

Rocas Cenozoicas. Para el Cenozoico la mayor parte de las rocas son de tipo ígneo volcánico y sedimentario continental. Las primeras se refieren en gran medida a los arcos magmáticos de la Sierra Madre Occidental y de la Faja Volcánica Transmexicana. Dentro del Cenozoico en la Sierra Madre Occidental se tienen rocas que se remontan al Paleoceno pero los principales episodios magmáticos son de edad Eoceno, Oligoceno y, en menor medida, del Mioceno inferior (Ferrari *et al.*, 2005) y tienen una distribución NNO-SSE en la parte occidental del territorio. Estos episodios, con una orientación similar, se encuentran representados también en la Sierra Madre del Sur, pero tienen menor extensión geográfica (Morán-Zenteno *et al.*, 2005). Rocas de arco del Mioceno inferior y medio afloran también en Baja California en el llamado "arco Comodú" (Umhoefer *et al.*, 2001). Las rocas volcánicas de la Faja Volcánica Transmexicana se distribuyen en una franja de orientación general E-O en la parte central del país a partir del Mioceno medio (Ferrari *et al.*, 1999). En esta provincia se han reconocido cuatro episodios principales de evolución con una migración hacia el sur desde el Mioceno tardío (Gómez-Tuena *et al.*, 2005). Afloramientos limitados de rocas volcánicas máficas de tipo intraplaca se encuentran en numerosas localidades en todo el territorio al norte de la Faja Volcánica Transmexicana con edades desde Oligoceno al presente (Aranda-Gómez *et al.*, 2005). Las rocas volcano-sedimentarias continentales se acumularon en diversas cuencas durante todo el Cenozoico. La secuencia más completa se encuentra en el amplio valle del Río Balsas, en el sur de México, donde tiene edades desde Mastrichtiano al Plioceno (Cerca-Martínez *et al.*, 2007). Al norte de la Faja Volcánica Transmexicana rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias continentales se acumularon en las numerosas cuencas tectónicas producto de la extensión tipo *Basin and Range* (Henry y Aranda, 1992). Rocas sedimentarias marinas del Paleoceno al Oligoceno están expuestas en el frente de la Sierra Madre Oriental, en las denominadas cuencas Cenozoicas del Golfo de México, que representan las regresiones marinas asociadas al levantamiento del occidente de México, además de la Sierra de Zongolica, en la Sierra de Chiapas y en la península de Yucatán.

Principales modificaciones en esta actualización

Como se indicó al inicio del texto, las modificaciones más relevantes que se efectuaron en esta actualización, se llevaron a cabo en las unidades correspondientes a las rocas magmáticas del Cenozoico y del Cretácico superior. Asimismo, es importante señalar que con el fin de mantener uniformidad y evitar confusiones, se mantuvo la nomenclatura utilizada por Ortega-Gutiérrez *et al.* (1992), de tal forma que, en caso de requerir mayor detalle sobre las unidades utilizadas, se recomienda la consulta del texto explicativo que acompaña dicha publicación.

En lo relativo a las rocas volcánicas cenozoicas destaca la separación de las secuencias de ignimbritas de la Sierra Madre Occidental, que correspondían a la unidad Tof -Terciario Oligoceno félsico- de Ortega *et al.*, (1992) en las nuevas unidades Peov -Paleógeno Eoceno Oligoceno volcánico- y Nmv - Neógeno Mioceno inferior volcánico-. Cabe señalar que en la versión de Ortega *et al.* (1992), ya se planteaba la problemática de que la unidad Tof integraba también secuencias del Mioceno que no había sido posible separar. En esta actualización, a partir de los fechamientos realizados durante más de diez años y de la integración cartográfica de Ferrari *et al.* (2002, 2005), ha sido posible separar las dos grandes secuencias de rocas predominantemente ignimbriticas que constituyen la mayor parte de la Sierra Madre Occidental.

Por lo que respecta a la Faja Volcánica Transmexicana, se efectuó una nueva integración de las unidades que la constituyen, con base al conocimiento geológico generado durante los últimos años (Gómez-Tuena *et al.*, 2005). Destaca la permanencia de la unidad Qtpv -secuencias volcánicas pliocénicas-cuaternarias-, y la agrupación de dos grandes conjuntos, Nmb -Neógeno Mioceno de composición básica- y Mv -Mioceno medio y tardío volcánico-. En el primer caso, la unidad corresponde al episodio máfico del Mioceno tardío que se emplazó desde Nayarit hasta Veracruz conformado por mesetas basálticas (Gómez-Tuena, *et al.*, 2005), en tanto que la unidad Mv corresponde a la actividad volcánica desarrollada en los albores de la Faja Volcánica Transmexicana, que se edifica primordialmente en el centro de México, como por ejemplo en Mil Cumbres y Anganguo, en Michoacán, Tenancingo y Malinalco en el Estado de México. También destaca la separación que se realiza de la unidad Tvsc -Terciario volcánico sedimentario continental- de Ortega *et al.*, (1992) en las unidades Peov que agrupa los episodios volcánicos del Eoceno y Oligoceno registrados en el sector occidental y centro de la Sierra Madre del Sur, y la unidad KsPgsc -Cretácico superior Paleógeno volcánico sedimentario continental-, que se incorpora en esta actualización.

Existen otras incorporaciones menores, como es el caso de los Esquistos Tejujico, (Elias-Herrera, 2004) que en esta actualización forma parte de la unidad Mmet -Mesozoico metamórfico-, la cual no se encontraba diferenciada.

Referencias bibliográficas:

Aranda-Gómez J.J.; J.F. Luhr.; T.B. Housh.; G. Valdez-Moreno.; G. Chávez-Cabello (2005). "El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México: una revisión", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, n° 3.

Bartolini, C.; H. Lang; T. Spell (2003). "Geochronology, geochemistry and tectonic setting of the Mesozoic Nazas arc in north-central Mexico, and its continuation to northern South America", en Bartolini, C.; R.T. Buffler; J. Blickwede, (eds.), "The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics", *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 79.

Busby, C. (2004). "Continental growth at convergent margins facing large ocean basins: a case study from Mesozoic convergent-margin basins of Baja California, Mexico", *Tectonophysics*, vol. 392.

Centeno García E.; P. Corona Chávez; O. Talavera Mendoza; A. Iriondo (2003). "Geology and tectonics of the western Guerrero Terrane - A transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, Mexico", en *Geologic transect across Cordilleran Mexico, Guidebook of the field trips of the 99th Geological Society of America Cordilleran Section Annual Meeting*, Instituto de Geología y Centro de Geociencias, UNAM, México, special publication 1.

Centeno-García E. (2005). "Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments of central and west Mexico: Constraints on terrane analysis and paleogeography", *Geological Society of America Special Paper* 393.

Cerca-Martínez M.; L. Ferrari; M. López-Martínez; B. Martiny; A. Iriondo (2007). "Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, southern Mexico: insights into the evolution of the Caribbean-North America plate interaction", *Tectonics*, vol. 26, No. 3.

Elias-Herrera, M. (2004). *Geología precenozoica de la región de Tejujico, Estado de México, y sus implicaciones tectónicas*, tesis doctoral, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, UNAM, México.

Ferrari L.; M. López-Martínez; G. Aguirre-Díaz; G. Carrasco-Núñez (1999). "Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt", *Geology*, v. 27.

Ferrari, L.; M. López-Martínez; J. Rosas-Elguera (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*, v. 21, n° 4.

Ferrari L.; M. Valencia-Moreno; S. Bryan (2005). "Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, n° 3.

Gómez-Tuena A., T. Orozco Esquivel; L. Ferrari (2005). "Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen Conmemorativo del Centenario. Tomo LVIII, n° 3.

Henry, C.; J. Aranda (1992). "The real southern Basin and Range: mid-to late Cenozoic extension in Mexico", *Geology*, v. 20.

Iriondo A.; W.R. Premo; L.M. Martínez-Torres; J.R. Budahn; W. Atkinson; D.F. Siems; B. Guarás-González (2004). "Isotopic, geochemical, and temporal characterization of Proterozoic basement rocks in the Quitovac region, northwestern Sonora, Mexico: Implications for the reconstruction of the southwestern margin of Laurentia", *Geological Society of America Bulletin*, v. 116.

Moran-Zenteno D.J.; M. Cerca-Martínez; J.D. Keppie (2005). "La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, n° 3.

Niño Samaniego A.F.; S. Alaniz Álvarez; A. Camprubi (2005). "La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVII, n° 3.

¹ Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México.

² Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ortega-Gutiérrez, F.; L. Mitre-Salazar; J. Roldán-Quintana; J. Aranda-Gómez; D. Morán-Zenteno; S. Alaníz-Álvarez; A. Nieto-Samaniego (1992), *Texto Explicativo de la 5ª Edición de la Carta Geológica de la República Mexicana Escala 1:2,000,000*, Instituto de Geología, UNAM, Consejo de Recursos Minerales, SEMIP, México.

Ortega-Gutiérrez F.; J. Ruiz; E. Centeno-García (2005), "Oaxaquia, a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic", *Geology*, v. 23.

Ortega-Gutiérrez, F.; M. Elias-Herrera; M. Reyes-Salas; C. Macías-Romo; R. López (1999), "Late Ordovician–Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana–Laurentia connections", *Geology*, v. 27.

Silver, L.T.; T.H. Anderson (1981), "An overview of Precambrian rocks in Sonora", *Revista, Instituto de Geología* vol. 5, UNAM, México.

Talavera-Mendoza, O.; J. Ruiz; G. E. Gehrels; D. M. Meza-Figueroa; R. Vega-Granillo; M. F. Campa-Uranga (2005), "U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico", *Earth and Planetary Science Letters*, v. 235.

Torres-Vargas, R.; J. Ruiz; P.J., Patchett; J.M. Grajales-Nishimura (1999), "A Permo–Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstructions of southern North America", en Bartolini, C., *et al.*, eds., *Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: Geological Society of America Special Paper 340*.

Umhoefer P.; R. Dorsey; S. Willsey; L. Mayer; P. Renne (2001), "Stratigraphy and geochronology of the Comondú Group near Loreto, Baja California Sur, Mexico", *Sedimentary Geology*, v. 144.