

Novedades científicas

De actualidad

Desde la UAM

Noticias de la AMC

Rodrigo Martínez-Abarca



Una breve historia de la Cuenca de México

La Ciudad de México se ubica al sur de la Cuenca de México. En la región han ocurrido diversos procesos geológicos, climáticos y sociales que han modelado el paisaje a lo largo de millones de años. En este artículo contamos una breve historia geológica y del cambio en el paisaje de la Cuenca de México por causas naturales y antropogénicas, desde su origen hasta nuestros días.

Introducción

La Ciudad de México y su zona metropolitana son el hogar de más de 21 millones de personas. La metrópoli se ubica al sur de la Cuenca de México, una región volcánica que forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (véase la Figura 1) y que tiene una amplia historia geológica, climática, ambiental y social que ha modificado el paisaje a lo largo del tiempo. En este artículo presentamos la compilación de una vasta cantidad de trabajos multidisciplinarios que, en conjunto, narran los cambios ocurridos en el paisaje de la Cuenca de México, desde sus épocas más remotas hasta la relación actual del humano con su medio natural.

La cuenca en cuestión es una depresión que ha funcionado como una trampa natural, en la que rocas y sedimentos han quedado resguardados a lo largo del tiempo. Dichos materiales, en conjunto con las rocas presentes en las inmediaciones de la cuenca, nos permiten conocer cómo era el pasado de la región hace miles o incluso millones de años. De igual modo, los registros arqueológicos encontrados y estudiados en décadas recientes han evidenciado la relación que los humanos tuvieron con los recursos naturales de la zona.

■ Evolución de la Cuenca de México

■ *De un ambiente marino...*

■ Los depósitos más antiguos de la Cuenca de México se localizan a 1 600 m de profundidad, según sabemos por las perforaciones que se han hecho; estos depósitos

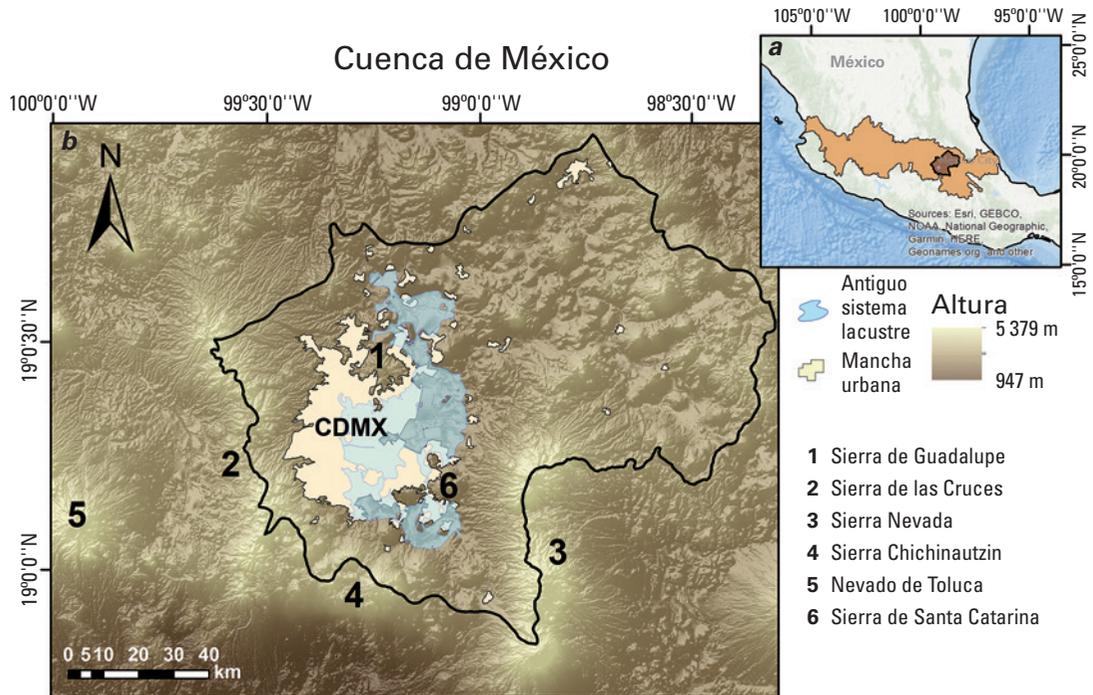


Figura 1. a) Ubicación de la Cuenca de México dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano; b) modelo de elevaciones de la cuenca (delimitada en negro) y sus alrededores. Se muestran las diferentes manchas urbanas, incluida la Ciudad de México (CDMX) y el antiguo sistema lacustre. Fuente de los archivos shapefile: Inegi (2020).

también se han encontrado expuestos al norte del estado de Morelos (González-Torres y cols., 2015). Con una edad de entre 125 y 66 millones de años (Aptiano-Maastrichtiano, en términos de periodos geológicos), las rocas corresponden a calizas de origen marino con un alto contenido de fósiles de radiolarios y foraminíferos (protistas que habitan los océanos), dado que, durante este periodo, el terreno que conformaría posteriormente la Cuenca de México se encontraba por debajo de un mar somero, en medio de dos continentes llamados Laramidia y Appalachia (véase la Figura 2). El clima global era cálido; sin embargo, las condiciones áridas predominaban en esta región, lo que permitió la formación de rocas calizas.

... a un ambiente continental

El cierre de los continentes Laramidia y Appalachia hace 66 a 34 millones de años (Paleoceno-Eoceno) tuvo como resultado la formación de diferentes cadenas montañosas; entre ellas, tenemos la actual Sierra Madre Oriental. Además, en el centro de lo que hoy es México, se formaron varias cuencas debi-

do a la actividad volcánica y tectónica. Los registros geológicos de este periodo en la Cuenca de México incluyen conglomerados de grava, arena y arcilla, así como algunos depósitos de lava (Arce y cols., 2019);



Figura 2. Mapa paleogeográfico de Norteamérica hace 75 millones de años. La ubicación de lo que sería la Ciudad de México (CDMX) se indica con una estrella. Figura modificada de Gates y cols. (2012).

dichos materiales no se encuentran expuestos en las inmediaciones de la cuenca, pero se han observado en perforaciones hechas en Texcoco a más de 2 065 m de profundidad.

Lo anterior sugiere que, durante este periodo, el terreno quedó expuesto a la atmósfera y formaba parte del continente, en donde el clima y el vulcanismo comenzaron a ser los principales modeladores del paisaje. Posteriormente (34-23 millones de años), la porción sur de la región presentó vulcanismo, cuyo registro geológico quedó cubierto por rocas más recientes; sin embargo, algunas perforaciones en Mixhuca los han encontrado a más de 1 200 m de profundidad (González-Torres y cols., 2015).

El aumento de la actividad volcánica

En el transcurso de los últimos 23 millones de años, una intensa actividad volcánica tuvo como consecuencia cambios en la morfología de la región y el subsecuente cierre de la cuenca. El emplazamiento de lava, la caída de cenizas, así como el depósito de sedimentos en las zonas bajas de la región rellenaron a la cuenca y, de manera gradual, le proveyeron de su altitud actual. Durante el Mioceno (hace 23 a 5 millones de años), un incremento en la actividad volcánica dominó el norte y sur de la región, asociado con la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Norteamericana.

Algunos depósitos volcánicos, como lava y flujos de escombros, se han encontrado en Malinalco,

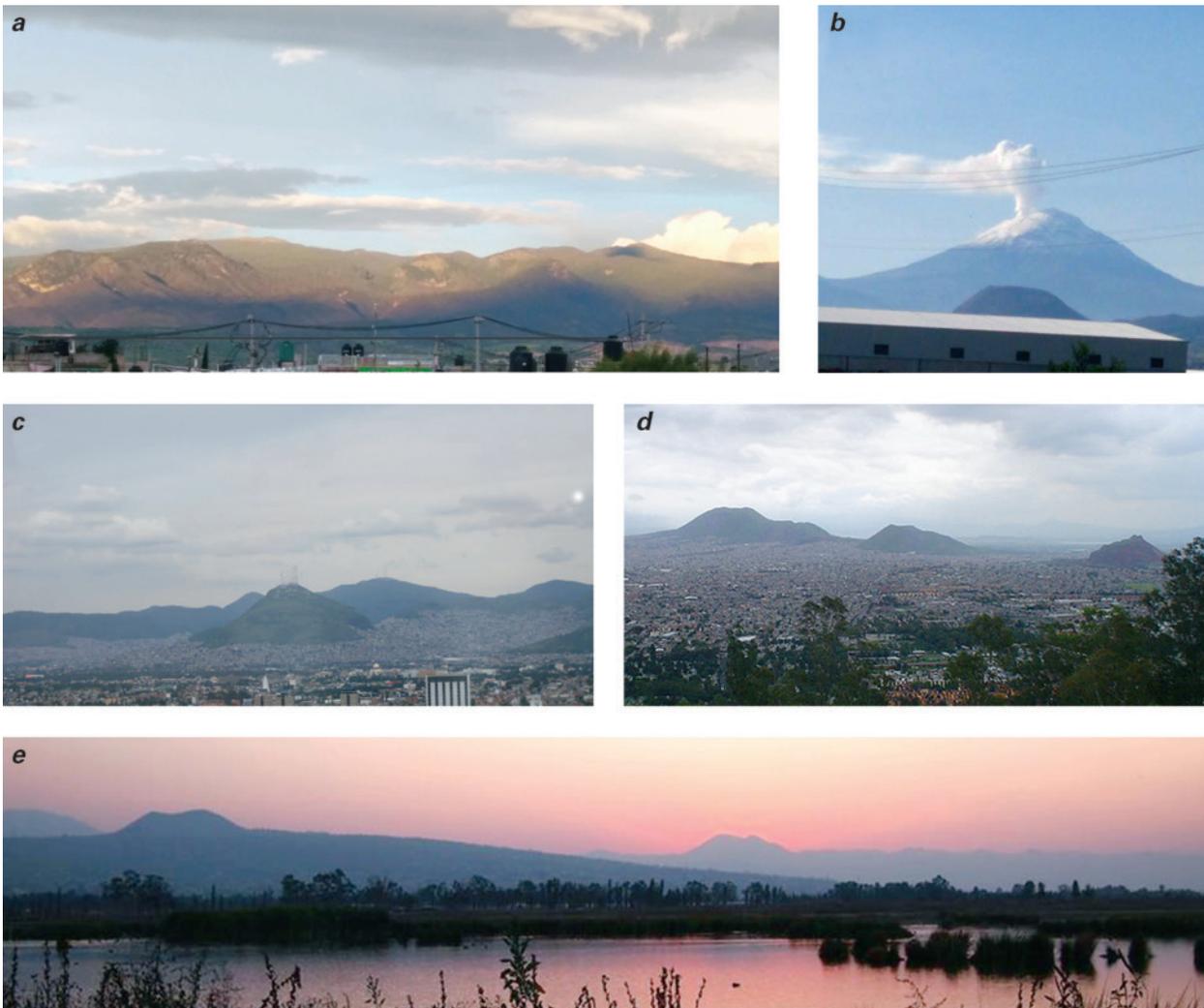


Figura 3. Principales orógenos de la Cuenca de México: a) porción norte de la Sierra Nevada; b) volcán Popocatepetl; c) Sierra de Guadalupe; d) Sierra de Santa Catarina; e) Sierra del Chichinautzin. Fuente: a)-d) autoría personal; e) cortesía de Ryan O'Grady (2016).

Chalma, Tepoztlán y Tlayacapan. Sin embargo, uno de los rasgos morfológicos más importantes de la cuenca es la Sierra de Guadalupe (véase la Figura 3c), un complejo de forma casi circular ubicado al norte de la Ciudad de México y que está compuesto por volcanes de una sola erupción (monogenéticos) de origen explosivo (por ejemplo, Zacatenco, Jaral y Tres Padres), así como domos (como Chiquihuite y Tepeyac). La edad de esta sierra oscila entre 15 y 14 millones de años, lo que las hace las estructuras volcánicas expuestas más antiguas de la región.

La Sierra de las Cruces es otra de las estructuras volcánicas más antiguas de la zona, con edades de entre 3.4 a 0.4 millones de años. Este sistema de volcanes, domos, flujos de escombros y lava recorre de noroeste a sureste el poniente de la Ciudad de México; sobresalen los volcanes La Catedral, La Bufa, Iturbide, Chimalpa y Ajusco. Se ha observado que el vulcanismo de esta sierra comenzó en el norte y, con el tiempo, el foco eruptivo migró al sur, hasta concluir con la construcción del volcán Ajusco.

Por otra parte, la Sierra Nevada, ubicada al oriente de la Ciudad de México, comenzó su formación hace 1.8 millones de años con el volcán Tlaloc y, en última instancia, con el Telapón hace 1.4 millones de años (García-Tenorio y cols., 2012). Otros volcanes de menores dimensiones, como Chimalhuache, Tlapacoya, Peñón del Marqués y Cerro de la Estrella, se formaron hace entre 1.1 y 0.8 millones

de años, como posible resultado de una fractura que recorre de oriente a poniente a la cuenca.

Entre 1.1 y 0.45 millones de años atrás, el complejo Iztaccíhuatl estuvo activo y fue construyendo una serie de conos volcánicos: Llano Grande, La Cabeza, El Pecho, Las Rodillas y Los Pies Ancestrales (García-Tenorio y cols., 2012). Por último, el Popocatepetl inició su actividad hace 0.33 millones de años. Su historia se compone de periodos de construcción y destrucción de diferentes paleovolcanes, como el Ventorrillo y Nexpayantla. Hace 27 000 años, este último tuvo una erupción muy importante que destruyó gran parte del edificio volcánico; cerca de 10 km³ de rocas se esparcieron mediante flujos de pómez y ceniza hasta 25 km a la redonda, y los lahares (flujos de escombros calientes posteriores a una erupción) recorrieron más de 100 km de distancia. De esta manera, el cono moderno del Popocatepetl inició su construcción, la cual continúa hasta la actualidad (Siebe y cols., 2017).

Un paisaje lacustre

Hasta hace 500 años, un gran sistema de lagos, compuesto por Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco, inundaba gran parte de la planicie de la Cuenca de México. Se ha estudiado poco sobre la edad en la que estos cuerpos de agua pudieron formarse, pero mediante perforaciones a 700 m de profundidad en un pozo en San Lorenzo Tezonco se obtuvieron lavas que subyacen a los depósitos lacustres más profundos y que sugieren que la sedimentación lacustre pudo iniciar hace al menos un millón de años (Lozano-García y Sosa-Nájera, 2015). En específico, el inicio de la sedimentación en el lago de Chalco pudo ocurrir hace 400 000 años, de acuerdo con datos de perforaciones recientes (Brown y cols., 2017). El probable establecimiento de Chalco fue simultáneo al término de la actividad volcánica del Iztaccíhuatl y ocurrió durante un periodo frío global llamado Estadio Isotópico Marino 10 (Martínez-Abarca y cols., 2021b).

A lo largo de los últimos 400 000 años, una recurrente y constante actividad volcánica ocurrió al sur de la cuenca, la cual generó la Sierra del Chichinautzin (véase la Figura 3e). Esta sierra está compues-



El cerro Teotón desde el malpaís de Nealtican. Foto: Bodofzt, <https://es.wikipedia.org/wiki/Teotón#/media/Archivo:Teotón2.jpg>

ta por más de 200 volcanes monogenéticos, entre los que se encuentran Tlaloc, Teuhtli, Dos Cerros, Chichinautzin y Xitle. Se sabe que la temperatura y la precipitación de la región tuvieron oscilaciones importantes durante los últimos 150 000 años.

Igualmente, los lagos de la cuenca tuvieron variaciones en su nivel lacustre asociado a periodos glaciares e interglaciares. Hace 130 000 años, un periodo glacial tuvo como consecuencia una importante disminución en la temperatura del hemisferio norte. El entorno húmedo y frío en la Cuenca de México provocó que al menos el lago de Chalco fuera profundo, de agua dulce, sin oxígeno y que la región tuviera pocos incendios forestales (Avendaño-Villeda y cols., 2018); conforme la temperatura incrementó hace 110 000 años, los cuerpos de agua de la cuenca fueron someros, salados, ricos en oxígeno y la cantidad de incendios forestales incrementó (Ortega-Guerrero y cols., 2020; Martínez-Abarca y cols., 2021a).

Ningún otro evento frío parecido al ocurrido hace 130 000 años se volvió a presentar en la Cuenca de México hasta el Último Máximo Glacial (26 000-19 000 años). Durante este periodo glacial, la temperatura de la región pudo haber disminuido 4 °C con respecto a la actual, lo que ocasionó la expansión de los glaciares de montaña, el incremento de comunidades de bosques, así como el establecimiento de lagos profundos y dulces (Caballero y cols., 2019). Las condiciones climáticas favorecieron la presencia en la cuenca de megafauna como mamuts, camellos, tigres dientes de sable y gliptodontes; algunos restos de estos animales se han encontrado al sur (Tlacotenco), oriente (Tocuila) y –más recientemente– norte de la Cuenca de México (Santa Lucía). Los fósiles ya analizados han arrojado edades de entre 17 000 y 12 000 años.

Los primeros registros humanos

El final del último periodo glacial, hace 12 000 años, estuvo marcado por un repentino enfriamiento, conocido como evento Younger Dryas, en el que la temperatura bajó 1.5 °C respecto a la actual. Los restos humanos más antiguos encontrados en la Cuenca de México tienen edades que rondan los

12 000 años y corresponden a las primeras ocupaciones humanas por comunidades nómadas. Al norte de la cuenca se encontró uno de los restos más antiguos (cerca de 12 700 años), conocida como la mujer del Peñón III; otros nómadas encontrados en la región son el hombre de Chimalhuacán (12 500 años), el hombre del Metro Balderas (12 500 años) y el hombre de Tlapacoya (12 200 años) (González y cols., 2015).

La actividad volcánica en la región en esos tiempos estuvo marcada por una importante erupción: la del volcán Nevado de Toluca en la cuenca vecina del Lerma. Durante la erupción, el volcán emitió grandes cantidades de rocas y cenizas que formaron una columna de 42 km de altura y varios flujos piroclásticos a 300 °C; en consecuencia, se estima que una vasta extensión de bosques se calcinó (Martínez-Abarca y cols., 2019). Es probable que esta erupción haya tenido efectos negativos para los primeros pobladores y la fauna, ya que algunos restos de homínidos y mamuts se han encontrado embebidos por las cenizas o flujos de escombros asociados a la erupción (por ejemplo, el hombre de Chimalhuacán y los mamuts de Tocuila).

Interacción humano-naturaleza

Desde el establecimiento de las primeras comunidades sedentarias, la interacción de los pobladores con su entorno ha sido fundamental para el desarrollo



Nevado de Toluca Foto: México en Fotos, A.C. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vista_del_Nevado_de_Toluca.jpg



Zea mays. Foto: H. Zell, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zea_mays_005.JPG

de grandes civilizaciones. Esta interacción se basa en la extracción de recursos, la adaptación de sus construcciones al entorno, la adoración de deidades asociadas a ciertos elementos naturales (agua, tierra y fuego), entre otras actividades.

Los pobladores de la Cuenca de México comenzaron a establecer relaciones de sedentarismo en las zonas fértiles y de mayor abastecimiento de recursos para su subsistencia, sobre todo desde hace 10 000 años (Holoceno). Para este tiempo, el establecimiento de condiciones cálidas asociadas a un incremento global de la temperatura (aumento de la temperatura regional de hasta 3 °C) modificó el paisaje de la cuenca. El repentino calentamiento, en conjunto con la caza, constituyen las principales razones vinculadas a la extinción de la megafauna en la región (González y cols., 2015).

En lo que era un islote del lago de Xochimilco, se han documentado restos de carbón, huesos y almidón que sugieren el establecimiento de las primeras

aldeas de la cuenca. Este periodo es conocido como fase La Playa y abarca de 6 000 hasta 4 500 años antes de nuestra era (a. n. e.) (McClung de Tapia y Acosta Ochoa, 2015). Registros paleoclimáticos en Xochimilco sugieren que para este periodo prevalecieron las condiciones húmedas y en el lago se concentraba agua dulce. En Tlapacoya (sur de la cuenca) también hay evidencias de un entorno húmedo con desarrollo de agricultura; esto, debido a la presencia de remanentes de gramíneas (*Zea mays*) y granos de Teocintle (antecesor del maíz domesticado).

Entre 3 000 y 2 000 a. n. e. (fase Zohapilco) se reporta un abandono del sitio, posiblemente asociado con el incremento de los niveles lacustres, claramente visible en los registros sedimentarios de Xochimilco desde 4 000 a. n. e., y que posiblemente inundaron el islote. Otra posible razón del abandono de la zona es por una importante actividad volcánica en la región. Entre las múltiples erupciones del Popocatepetl se encuentra la llamada Secuencia Eruptiva Pliniana del Pre-Cerámico Superior, cuyas cenizas abarcan edades entre 3 195 y 2 830 a. n. e.; sin embargo, la dispersión del material volcánico fue mayoritariamente hacia el norte.

Los remanentes de estructuras arquitectónicas complejas y más antiguas de la Cuenca de México figuran entre los años 800 a. n. e. y 250 después de nuestra era (d. n. e.). Éstos se asocian a la zona arqueológica de Cuicuilco, parte de una civilización que se estableció en la porción suroeste, a las orillas del lago de Xochimilco (véase la Figura 4). La interacción entre los pobladores de Cuicuilco con el medio natural es poco conocida; sin embargo, Byron Cummings, quien fue el primer investigador en describir la zona arqueológica, reportó la presencia de hojas de cobre que indican un conocimiento temprano de metalurgia en la cuenca.

Durante el desarrollo de Cuicuilco, el Popocatepetl terminó con un importante periodo de actividad volcánica, conocido como Secuencia Eruptiva Pliniana del Cerámico Bajo (800-215 d. n. e.), pero es probable que no tuviera efecto sobre los pobladores, ya que gran parte de sus cenizas se dirigieron al oriente. Cuicuilco fue sepultada por las lavas del volcán Xitle, ubicado 7 km al suroeste de la zona

arqueológica (véase la Figura 4). Las dataciones más recientes de las lavas reportan edades de 1 670 años (equivalente al año 280 d. n. e.), lo que constituye una de las erupciones más recientes de la Cuenca de México.

La última gran civilización que dominó la región antes de la Conquista española fue Tenochtitlan. Esta ciudad fue fundada en el año 1324 d. n. e., sobre un pequeño islote ubicado en el centro del sistema lacustre (véase la Figura 4). No se conoce la extensión precisa que la ciudad pudo abarcar durante su época de mayor auge; sin embargo, se estima que su población pudo ser de hasta 300 000 habitantes.

Por su ubicación, se presume que los pobladores de Tenochtitlan percibieron que su sobrevivencia dependía de los lagos y su correcto manejo. En este sentido, los lagos que rodeaban a la ciudad le brindaban protección y fuentes de alimento. Asimismo, se concibieron diversas edificaciones para el control del agua, entre ellas diques y acueductos; dos ejemplos son el acueducto construido en 1416 y destruido posteriormente por una inundación, y el albarradón de Nezahualcóyotl, que separaba a las aguas dulces de Xochimilco de las aguas saladas de Texcoco.

También se desarrolló la producción de chinampas, las cuales son plataformas angostas y rectangulares constituidas por alternancias de lodo y restos de vegetación (Tortolero, 2000). Su uso residencial permitía la vivienda para grupos entre 10 y 15 personas. No obstante, muchas de las zonas chinamperas fueron usadas para el cultivo de especies vegetales, una actividad que permanece hasta nuestros días.

Por último, el aprovechamiento de las rocas volcánicas de la cuenca, así como de la arcilla del fondo de los lagos, se muestra en los grandes centros religiosos, como el Templo Mayor. Además, después de la Conquista en 1521, los cambios regionales en el paisaje se aceleraron por la constante extracción de recursos y la expansión de la mancha urbana.

El sistema lacustre comenzó su drenado hacia las zonas norteñas, después de diversas inundaciones reportadas en los años 1555, 1580 y 1604. Los nuevos pobladores de la región no aprovechaban los recursos hídricos; por el contrario, los percibían como un “enemigo natural del progreso”. Como solución a este problema, en 1608 comenzaron los primeros trabajos de desagüe en la cuenca, pero no fue sino hasta 1897 cuando grandes obras, como el



Figura 4. Pintura mural *La gran Tenochtitlan* (Luis Covarrubias, 1964). Fuente: fotografía tomada por Gary Lee Todd (2012). Pintura perteneciente a la colección del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Museo Nacional de Antropología, Ciudad de México. Este archivo está disponible bajo Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication.

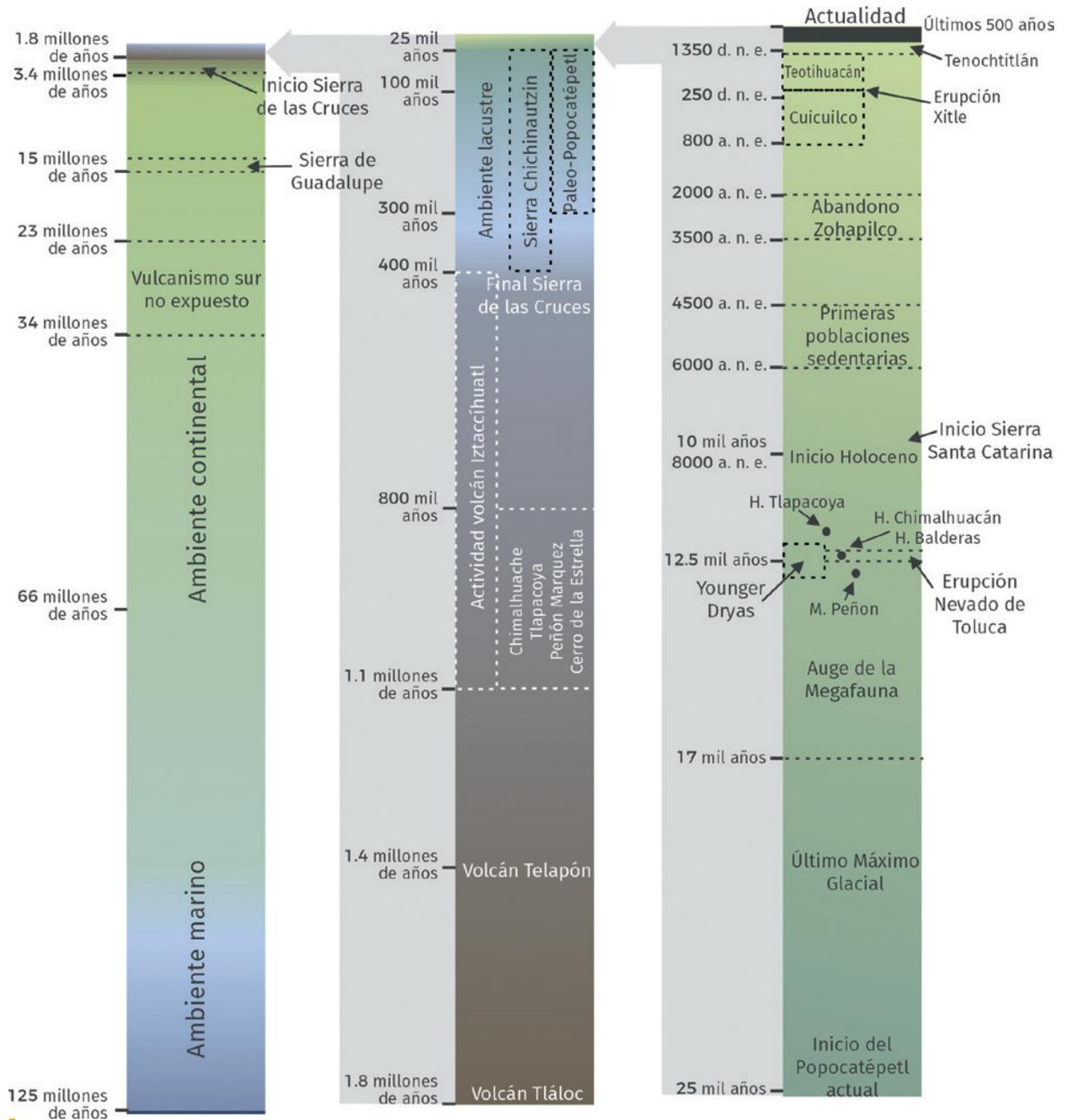


Figura 5. Línea del tiempo con los principales sucesos ocurridos en la Cuenca de México descritos en este artículo.

Gran Canal de Desagüe, aceleraron el proceso de desecación.

Además, la Cuenca de México, y en particular la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, fue testigo de grandes olas de migración desde diversas partes del país a mediados del siglo XX. Se ha estimado que entre 1940 y 1950 la tasa de crecimiento de la población urbana era de 5.9%, y después se mantendría relativamente constante hasta 1990.

El incremento de la mancha urbana continúa hasta nuestros días; de acuerdo con el último censo poblacional, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México hay más de 21 millones de habitantes.

Conclusión

La Ciudad de México tiene una larga historia geológica, ambiental y arqueológica que es difícil

de resumir en unas cuantas páginas. En este artículo hemos compilado una gran cantidad de estudios de diversas ramas de las ciencias naturales y sociales para vislumbrar el cambio natural y antropogénico del entorno de la Cuenca de México en el tiempo.

El paisaje de la región es dinámico y se modifica constantemente en diferentes escalas temporales como resultado del vulcanismo, tectonismo y clima. Desde la aparición de las primeras comunidades nómadas, la actividad antropogénica ha causado la alteración del ambiente, lo cual se ha acelerado en los últimos 2 000 años y, sobre todo, desde el siglo XV. Por lo anterior, debemos preguntarnos cómo responderá la Cuenca de México a los constantes

cambios que hemos provocado en fechas recientes y ante diversos fenómenos globales, como el cambio climático; en este sentido, es necesario continuar con las investigaciones desde diferentes perspectivas, pero igualmente se requiere tomar acciones para que el porvenir de la región se expanda y no se remita a una futura pero breve historia de la Cuenca de México.

Rodrigo Martínez-Abarca

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geosysteme und Bioindikation, Alemania.

l.martinez-abarca@tu-braunschweig.de

Lecturas recomendadas

- Arce, J. *et al.* (2019), "Geology and stratigraphy of the Mexico basin (Mexico city), central trans-Mexican volcanic belt", *Journal of Maps*, 15(2):320-332.
- Avendaño-Villeda, D. *et al.* (2018), "Condiciones ambientales a finales del Estadio Isotópico 6 (El 6:>130000 años) en el centro de México: caracterización de una sección de sedimentos laminados proveniente del Lago de Chalco", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(2):168-178.
- Brown, E. *et al.* (2019), "Scientific drilling of Lake Chalco, Basin of Mexico (MexiDrill)", *Scientific Drilling*, 26:1-15.
- Caballero, M. *et al.* (2019), "Quantitative estimates of orbital and millennial scale climatic variability in central Mexico during the last ~40,000 years", *Quaternary Science Reviews*, 205:62-75.
- Gates, T. A., A. Prieto-Márquez y L. E. Zanno (2012), "Mountain building triggered Late Cretaceous North American megaherbivore dinosaur radiation", *PLOS ONE*, 7(8):e42135.
- García-Tenorio, F., G. Reyes-Agustín y F. López-Pizaña (2012), "Geology and geochronology of Tlálac, Tlapón, Iztaccíhuatl, and Popocatepetl volcanoes, Sierra Nevada, central Mexico", *The Southern Cordillera and Beyond*, 25:163.
- González, S. *et al.* (2015), "Paleoindian sites from the Basin of Mexico: Evidence from stratigraphy, tephrochronology and dating", *Quaternary International*, 363:4-19.
- González Torres, E. *et al.* (2015), "Revisión de los últimos eventos magmáticos del Cenozoico del sector norte-central de la Sierra Madre del Sur y su posible conexión con el subsuelo profundo de la Cuenca de México", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2):285-297.
- Lozano-García, S. y S. Sosa-Nájera (2015), "Análisis palinológico del Cenozoico de la cuenca de México: el registro polínico de los pozos Texcoco-I y San Lorenzo Tezonco", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2):245-253.
- Martínez-Abarca, R. *et al.* (2019), "Incendios y actividad volcánica: historia de fuego en la cuenca de México en el Pleistoceno tardío, con base en registros de material carbonizado en el lago de Chalco", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(2):259-269.
- Martínez-Abarca, R. *et al.* (2021a), "Environmental changes during MIS6-3 in the Basin of Mexico: a record of fire, lake productivity history and vegetation", *Journal of South American Earth Sciences*, 109:103231.
- Martínez-Abarca, R. *et al.* (2021b), "Sedimentary stratigraphy of Lake Chalco (Central Mexico) during its formative stages", *International Journal of Earth Sciences*, 110:2519-2539.
- McClung de Tapia, E., y G. Acosta Ochoa (2015), "Una ocupación del periodo de agricultura temprana en Xochimilco (ca. 4200-4000 a.e)", *Anales de Antropología*, 49(II):229-315.
- Siebe, C. *et al.* (2017), "The ~23,500 y 14C BP White Pumice Plinian eruption and associated debris avalanche and Tochimilco lava flow of Popocatepetl volcano, México", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 333:66-95.
- Ortega-Guerrero, B. *et al.* (2020), "Climatic control on magnetic mineralogy during the late MIS 6-Early MIS 3 in Lake Chalco, central Mexico", *Quaternary Science Reviews*, 230:106163.
- Tortolero, A. (2000), *El agua y su historia: México y sus desafíos hacia el siglo XXI*, México, Siglo XXI.