



Autor:
Adrián Pedrozo Acuña
Fecha de publicación:
24 de abril de 2022

Agua y desarrollo económico en zonas cársticas

En México, la región cárstica por excelencia se encuentra en la península de Yucatán.



Las zonas cársticas comprenden regiones geográficas cuyo subsuelo está caracterizado por una geología dominada por calizas, dolomitas, mármol, yeso y sal, generando ambientes únicos por su belleza.

Este tipo de regiones representan aproximadamente el 12 % de la superficie total del planeta y, además, coinciden con zonas de abundantes recursos naturales, como son el agua, las canteras de calizas, el petróleo y el gas natural (Kalhor et al., 2019).

Estas regiones son al mismo tiempo las más diversas, fascinantes y problemáticas, dada la complejidad natural del territorio. Contienen los manantiales más grandes y las fuentes de abastecimiento de agua potable más productivas de la Tierra por su rápida tasa de renovación. Además, se caracterizan por las rápidas fluctuaciones de los niveles freáticos del acuífero en respuesta a eventos de precipitación que ocurren en la superficie. Esta complejidad en la hidrología requiere de especialistas que nos permitan entender los flujos a una escala regional, los tiempos de residencia del agua en los acuíferos y los tiempos de retraso entre eventos de tormenta y la recarga del acuífero, lo que a su vez requiere de información y datos de campo sobre los flujos subterráneos y las cavernas. En todo el mundo, las zonas cársticas ofrecen un abanico extenso de recursos naturales, por lo que su aprovechamiento adecuado y responsable tiene el potencial de generar diversos beneficios económicos.



Tan solo en Estados Unidos de América existen diversas grandes ciudades ubicadas sobre regiones cársticas, como son San Luis, Missouri; Nashville, Tennessee; Birmingham, Alabama; y Austin, Texas, entre otras. Por otro lado, en México, la región cárstica por excelencia se encuentra en la península de Yucatán (Bauer-Gottwein et al., 2011), con lo que las ciudades de Campeche, Mérida y Cancún podrían aprovechar las lecciones aprendidas de ciudades más grandes ubicadas sobre este tipo de geología. Entre esas lecciones que se observan en diversos países se registran problemas ambientales comunes que es necesario identificar y que es posible atender, como son la generación de socavones en la superficie de la tierra o la fragilidad a la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua dulce. En las ciudades, este último se manifiesta como resultado de la falta de sistemas de drenaje y saneamiento adecuados, que redundan en la infiltración de sustancias químicas industriales y domésticas en el acuífero, mientras que en zonas rurales, la contaminación está más asociada al uso de pesticidas, fertilizantes, herbicidas, ganadería y al inadecuado manejo de residuos (Bakalowicz, 2005; Reberski et al., 2022). Por otro lado, un ordenamiento territorial que ignora la dimensión hidrológica para organizar el crecimiento de las localidades puede redundar en la desestabilización del equilibrio entre las componentes superficiales y subterráneas del ciclo del agua, que modifican los patrones de flujo para dar lugar a socavones.

Los complejos procesos geológicos que tienen lugar en ambientes cársticos incrementan los problemas para vivir en ellos. Sin embargo, a medida que nuestro entendimiento de este tipo de sistemas ha mejorado, también lo ha hecho nuestra habilidad para prevenir diversos problemas asociados al uso del suelo y para remediarlos cuando ocurran. La ciencia y la tecnología proveen actualmente información diversa sobre el funcionamiento de los acuíferos cársticos. Este conocimiento nos permite atender de forma preventiva y correctiva el problema de la contaminación, así como la identificación de las zonas de cavernas susceptibles a fallas geológicas importantes. Por ejemplo, conocer los flujos regionales en un acuífero nos permite identificar zonas de riesgo de contaminación y clasificar los pozos de extracción de agua potable en función de tal riesgo. También, en ciudades donde se sabe que hay contaminación del acuífero es imperativo controlar su crecimiento y establecer soluciones tecnológicas descentralizadas para el tratamiento de aguas residuales.

El componente subterráneo del ciclo hidrológico en estas regiones es el más importante, y posee peculiaridades que es necesario conocer, como el flujo subterráneo que se da entre fracturas y cavidades que se producen por la disolución natural de las calizas ante los flujos de agua a velocidades muy rápidas, en contraste con el flujo mucho más lento y uniforme de un acuífero arcilloso. Por esta razón, las tasas de recarga en estos acuíferos tienen las velocidades más rápidas que existen en la naturaleza, y el nivel freático responde con tanta rapidez a eventos de tormenta e inundación en la superficie, dando como resultado una amplificada interacción entre los procesos hidrológicos superficiales y subterráneos. Es importante señalar que incluso en la ausencia de ríos superficiales (como en la península de Yucatán), una región cárstica es una zona de recarga del acuífero. De esta forma, el agua superficial que escurre sobre toda la superficie, y no solamente a través de los característicos cenotes, tiene el potencial de arrastrar sedimentos y contaminantes al subsuelo.

Es por esto que el inadecuado control de la expansión urbana de ciudades pequeñas y grandes ubicadas en zonas cársticas requiere una especial atención. Su expansión gestionada bajo una óptica unidimensional de crecimiento económico acelerado no ofrece todas las dimensiones necesarias que se deben incorporar en el análisis de una zona con estas características. No se trata de detener el desarrollo económico, sino de hacerlo de la mano de la evidencia científica más reciente, al servicio del interés de todos y que permita tomar las decisiones de gobierno en beneficio de las comunidades que ahí viven. De esta forma detonaremos un desarrollo equitativo, seguro y confortable para todos los

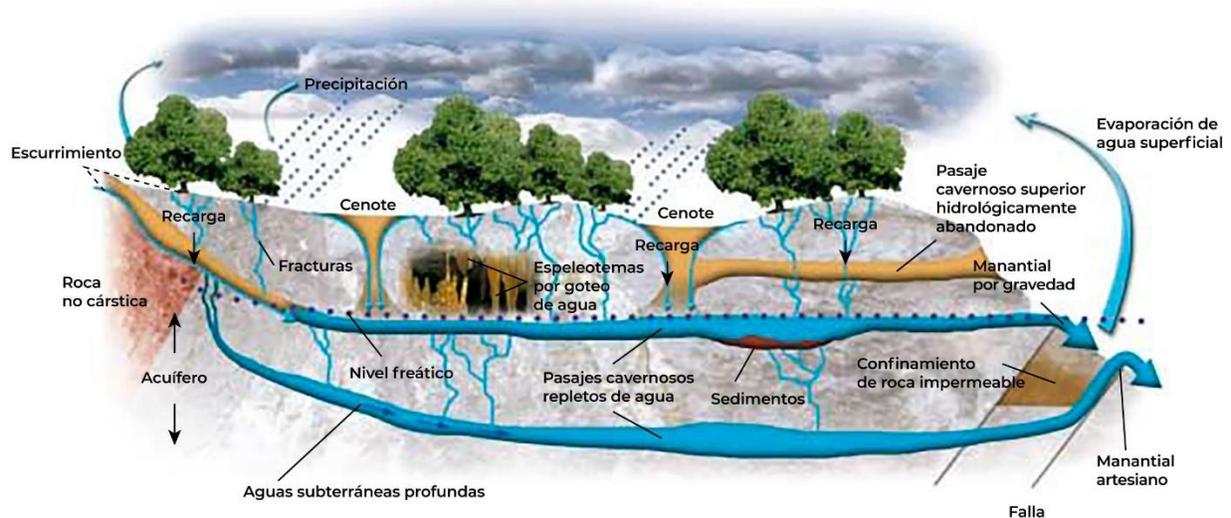


habitantes. Es importante mencionar que es posible resolver todas las preocupaciones ambientales asociadas a las regiones cársticas del mundo, siempre de la mano de la ciencia y la tecnología.

En el caso de la península de Yucatán, en los últimos años se ha registrado un crecimiento poblacional y económico acelerado en sus ciudades más importantes, entre las que destacan Mérida y Cancún, pero que incluye a otros polos de desarrollo turístico como Playa del Carmen y Tulum por mencionar algunas. Este desarrollo económico, impulsado por diversas actividades, entre las que destaca el turismo, ha modificado las relaciones sociales entre las comunidades de la península, alterando sistemas de producción agrícola y dietas, y concentrando el crecimiento en sólo algunos polos de desarrollo. Esto, a su vez, ha motivado un crecimiento urbano muy intenso y desordenado en estas ciudades. Este crecimiento no ordenado impone un importante incremento en el riesgo de contaminación del acuífero de Yucatán más que ningún otro proceso antropogénico. Es sabido que la ciudad de Mérida carece de un sistema de drenaje adecuado. Por si esto fuera poco, este crecimiento no ordenado genera altos niveles de tráfico y contaminación del aire que inciden directamente en la calidad de vida de los habitantes. Véase tan solo lo ocurrido el siglo pasado en las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Por tanto, el desarrollo de un proyecto tecnológico de transporte en el sureste mexicano, que comunica las grandes ciudades y las integra con las comunidades más pequeñas, permitirá un desarrollo equitativo, pues le abre la puerta a los habitantes de todas las localidades de la península de Yucatán para acceder e integrarse al desarrollo económico de los polos ya establecidos en la región sin que necesariamente se vea forzada su migración a ellas. Al mismo tiempo, limita el crecimiento de estos polos, pues ya no es necesario vivir en esas ciudades para acceder a una mejor calidad de vida. El Tren Maya es un proyecto que ofrece la oportunidad de un desarrollo regional integral a todas las personas, y no solo a unos cuantos que viven en dos o tres ciudades.

Durante la segunda mitad del siglo XX, este tipo de trenes rápidos fue reconocido como un parteaguas en la tecnología del transporte de pasajeros, que permitió equilibrar el desarrollo económico regional en diversos países de Europa y en China (Chang et al., 2022), lo cual facilitó la integración del mercado y permitió el desarrollo de otras ciudades que se habían quedado rezagadas al interior de los países. El Tren Maya es, entonces, una gran oportunidad para conservar el acuífero de Yucatán, pues contiene el crecimiento acelerado de polos de desarrollo urbanos (Mérida, Cancún) y favorece el crecimiento ordenado de comunidades más pequeñas en toda la región.

Por esta razón, acompañamos este proyecto con el mejor conocimiento disponible, para que con las mejores prácticas internacionales y la ética que nos convoca a cuidar la vida y a las personas, avanzamos para conservar este acuífero cárstico.



El ciclo hidrológico en áreas cársticas

Referencias

- Kalhor, K., Chasemizadeh, R., Rajic, L., Alshwabkeh, A. 2019. Assessment of groundwater quality and remediation in karst aquifers: A review, *Groundwater for Sustainable Development*, Volume 8, Pages 104-121, <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.10.004>
- Bakalowicz, M. 2005. Karst groundwater: a challenge for new resources. *Hydrogeol. J.*, 13 (1), pp. 148-160, 10.1007/s10040-004-0402-9
- Bauer-Gottwein, P., B.R.N. Gondwe, G. Charvet, L.E. Marín, M. Rebolledo-Vieyra, G. Merediz-Alonso. 2011. Review: the Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico. *Hydrogeol. J.*, 19 (3) (2011), pp. 507-524, 10.1007/s10040-010-0699-5
- Reberski, J.L., Josip Terzić, Louise D. Maurice, Dan J. Lapworth, 2022. Emerging organic contaminants in karst groundwater: A global level assessment, *Journal of Hydrology*, Volume 604, 127242, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127242>.
- Zheng Chang, Longfei Zheng, Tianren Yang, Fenjie Long, High-speed rail, new town development, and the spatial mismatch of land leases in China, *Land Use Policy*, 10.1016/j.landusepol.2022.106014, 115, (106014), (2022).
- Zheng S. and M. E. Kahn. 2013. China's bullet trains facilitate market integration and mitigate the cost of megacity growth, *PNAS*, 110 (14) E1248-E1253 | <https://doi.org/10.1073/pnas.1209247110>