



*Autor:*  
Adrián Pedrozo Acuña  
*Fecha de publicación:*  
13 de marzo de 2022

## El camino hacia la sustentabilidad hídrica de acuíferos sobreexplotados

En todo el planeta, varios acuíferos están bajo condiciones de un severo estrés hídrico que resulta de desbalances por el exceso de extracciones frente a su recarga natural.



*Los acuíferos constituyen una de las fuentes de abastecimiento de agua más importantes en todo el mundo.*

El papel clave que desempeñan para garantizar el suministro de agua potable para consumo humano y para la producción de alimentos en zonas de riego es indiscutible. A pesar de ello, en diversos lugares del planeta, incluido nuestro país, nos encontramos frente a un escenario de sobreexplotación de acuíferos que resulta en gran parte por la acción conjunta de dos hechos innegables: por un lado, se cuenta con un manejo muy limitado de estos sistemas, sin métodos basados en la ciencia y sin mediciones adecuadas y, por otro, existe un documentado incremento exponencial en las extracciones y demandas de agua subterránea debido las diversas actividades humanas (Bierkens y Wada, 2019). De manera sistemática, los esfuerzos para hacer frente a este problema han sido bloqueados por la falta de conocimiento sobre el funcionamiento de la dinámica de los acuíferos; por limitaciones de los datos de campo (por lo general se realizan solo dos lecturas de pozo al año); por la división administrativa de los acuíferos, que no obedece a una división natural basada en la hidrogeología del sitio; así como por factores económicos, culturales y políticos.

Es por todos conocido que las extracciones de agua subterránea representan el principal forzamiento para la sobreexplotación de acuíferos. Sin embargo, México y la gran mayoría de países no cuentan con los datos adecuados para cuantificar el estrés hídrico al que los sometemos por este constante y creciente bombeo. Para dar un ejemplo, tan solo en los Estados Unidos de América, solo el 36 % de los



pozos para uso agrícola tienen medidores de caudal, mientras que la gran parte de los acuíferos ubicados en zonas altamente estresadas en el centro y oeste americano todavía tienen pendiente la adopción de sistemas de monitoreo de extracciones (NASS, 2018). Dentro de los estados americanos que representan un ejemplo en la implementación de sistemas de monitoreo continuo de las extracciones de agua se encuentra Kansas con un 95 % de pozos de extracción instrumentados (de un total de 18,900 pozos). Bohling et al., (2021), Lamb et al., (2021) y Majumdar et al., (2020) han presentado estudios que utilizan los datos del estado de Kansas para determinar recomendaciones sobre el número de pozos que se requiere instrumentar para medir de forma adecuada un acuífero y conocer cuáles son los factores determinantes en la definición de un volumen de extracción, así como la efectividad de la implementación de técnicas de aprendizaje basadas en datos para la estimación de volúmenes de extracción. Por otro lado, existen también intentos para verificar información derivada de satélites para estimar los volúmenes de agua subterránea utilizada en el riego agrícola y examinar las implicaciones de utilizar estos métodos para el diseño de política pública (Foster et al., 2020).

La recarga es una de las variables más importantes de un acuífero, pero, al mismo tiempo, representa un componente con gran cantidad de incertidumbre, derivada de la alta variabilidad espacial y temporal de este dato dadas las condiciones geológicas de cada sitio (Healy, 2010). Por ejemplo, Neely et al., (2021) utilizan datos relativos a la subsidencia del suelo para identificar posibles zonas de recarga en el acuífero del Valle Central de California, donde existe una gran vocación agrícola en el uso del agua. Cada vez con mayor frecuencia vemos a la gestión integrada de la recarga como una metodología que puede prevenir y revertir la sobreexplotación de acuíferos altamente estresados, lo que resulta de gran importancia para comunidades rurales que compiten con las actividades económicas por el acceso al agua (Marwaha et al., 2021).

Asimismo, en todo el mundo es cada vez más aceptado que los datos provenientes de la misión satelital GRACE, por sus siglas en inglés, representan las estimaciones más importantes relativas a la sobreexplotación de acuíferos. A través de esta información se han identificado regiones en el mundo donde los niveles de extracción superan, por mucho, la capacidad de la recarga de los acuíferos (Rodell et al., 2018). En México, su utilización ha sido impulsada desde inicios de este sexenio por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con algunas reservas de ingenieros de la vieja guardia que no están familiarizados con este tipo de información y que cubren con un manto de duda las conclusiones que se derivan de su análisis. Sin embargo, en los Estados Unidos de América es cada vez más frecuente encontrar estudios que corroboran su importancia y que validan su utilización, por ejemplo, Rateb et al. (2020) presentaron una comparación de datos de satélite con datos piezométricos y modelos globales para los 14 acuíferos más grandes de esa nación.

Respecto a la gobernanza del agua subterránea, el reto estriba en que no hay una metodología estándar para su gestión adecuada, y los marcos regulatorios son altamente variables entre países e incluso dentro de ellos. A manera de ejemplo, en los Estados Unidos, el manejo de acuíferos es una responsabilidad estatal, por lo que un mismo acuífero compartido por dos o más estados puede estar sujeto a una gran variedad de metodologías y disposiciones regulatorias (Griggs, 2014). El tema clave consiste en la generación de mecanismos de regulación que nos permitan atender el problema de la sobreexplotación de acuíferos ya identificado. En México, diversos investigadores reconocen las dificultades que nos impone la definición de acuíferos bajo criterios de división política y no bajo criterios relativos a la geología del sitio o los flujos regionales, además de lo rudimentaria, incierta y caduca que resulta la metodología definida en la Norma Oficial Mexicana 011-CONAGUA-2015, utilizada para estimar la disponibilidad y recarga de estos almacenamientos.



Por otro lado, las restricciones en el uso del agua subterránea constituyen una de las medidas más comunes, y por lo general se aplican como parte de esfuerzos para proteger a los usos prioritarios de agua superficial, considerando siempre mantener los caudales ecológicos. Sin embargo, la generación de estrategias que permitan su implementación exitosa ha representado una verdadera dificultad (Bredehoeft, 2011). Lo innegable es que todas las estrategias requieren un monitoreo adecuado de los flujos y las extracciones para su evaluación y verificación.

El usuario predominante del agua subterránea en todo el planeta es la agricultura. En un estudio reciente, Dieter et al., (2018) estimaron que 70 % del agua extraída de los acuíferos es empleada en sistemas de riego, porcentaje que se repite en varios países del mundo, entre los que se encuentra México. En este sentido, los esfuerzos abocados a revertir la sobreexplotación de acuíferos deben considerar zonas de riego para la verificación de su éxito (Deines et al., 2021). En la generación de estrategias para detener la sobreexplotación de acuíferos será necesario implementar modelos regionales que resuelvan flujos subsuperficiales, a fin de evaluar la recarga y los flujos laterales y su respuesta a modificaciones en los volúmenes de extracción, utilizando incluso metodologías multimodelo, en un símil a lo que ya ocurre de forma recurrente con las predicciones del clima (ensambles multimodelo) (Hartick et al. 2021). Para la siguiente actualización de la NOM-011-CONAGUA-2015, desde el IMTA hemos manifestado la importancia de considerar una batería de métodos diversos para estimar la recarga y la disponibilidad de los acuíferos con una menor incertidumbre.

En todo el planeta, varios acuíferos están bajo condiciones de un severo estrés hídrico que resulta de desbalances por el exceso de extracciones frente a su recarga natural. En México, los retos hídricos que derivan de una condición de no sustentabilidad (extracciones >> recarga) son inmensos, tanto para garantizar el derecho humano al agua de las personas, como para la productividad de la economía (agricultura e industria). Inmensos sí, pero no imposibles de atender. Para conducir a nuestros acuíferos a una condición de sustentabilidad en el futuro próximo se identifican con mucha claridad los siguientes principios básicos para nuestros esfuerzos:

1. Medir más y medir bien, en tiempo real y con información abierta al público. Lo que no se mide no se puede administrar.
2. Decidir con base en evidencia científica moderna y actualizada. Es muy importante actualizar el marco normativo nacional con el mejor conocimiento disponible en el mundo.
3. Actualizar nuestras metodologías de análisis y adquisición de datos para combinar la información in situ de pozos de observación y extracción con información de satélites.
4. Migrar a un sistema de modelado con base en múltiples modelos para predecir recarga y disponibilidad del agua subterránea bajo diferentes escenarios climáticos. Esto tiene el potencial de anticipar las decisiones, considerando diferentes escenarios prospectivos para planear por el bien común hacia el futuro.

Atender estos principios nos permitirá, como nación, identificar y aclarar los obstáculos que enfrentamos en la gestión del agua subterránea, lo que a su vez nos permitirá avanzar hacia rutas con base en la sustentabilidad hídrica de estos almacenamientos. Así es como lograremos detonar el uso adecuado del agua subterránea para garantizar el bienestar social de todos y el desarrollo económico equitativo, con ciencia, ética y transparencia.



## Referencias

Bierkens, M. F. P., & Wada, Y. (2019). Non-renewable groundwater use and groundwater depletion: A review. *Environmental Research Letters*, 14(6), 43. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1a5f>

Bohling, G. C., Butler, J. J. Jr., Whittemore, D. O., & Wilson, B. B (2021). Evaluation of data needs for assessments of aquifers supporting irrigated agriculture. *Water Resources Research*, 57(4), e2020WR028320. <https://doi.org/10.1029/2020WR028320>

Bredehoeft, J. (2011). Hydrologic trade-offs in conjunctive use management. *Ground Water*, 49(4), 468-475.

Deines, J. M., Kendall, A. D., Butler, J. J., Basso, B., & Hyndman, D. W. (2021). Combining remote sensing and crop models to assess the sustainability of stakeholder-driven groundwater management in the US high plains aquifer. *Water Resources Research*, 57, e2020WR027756. <https://doi.org/10.1029/2020WR027756>

Dieter, C. A., Maupin, M. A., Caldwell, R. R., Harris, M. A., Ivahnenko, T. I., Lovelace, J. K., et al. (2018). Estimated use of water in the United States in 2015, U.S. Geological Survey Circular 1441, Reston, VA: U.S. Geological Survey.

Foster, T., Mieno, T., & Brozovic, N. (2020). Satellite-based monitoring of irrigation water use: Assessing measurement errors and their implications for agricultural water management policy. *Water Resources Research*, 56, e2020WR028378. <https://doi.org/10.1029/2020WR028378>

Griggs, B. W. (2014). Beyond drought: Water rights in the age of permanent depletion. *Kansas Law Review*, 62(5), 1263-1324. <https://doi.org/10.17161/1808.20269>

Hartick, C., Furusho-Percot, C., Goergen, K., & Kollet, S. (2021). An interannual probabilistic assessment of subsurface water storage over Europe using a fully coupled terrestrial model. *Water Resources Research*, 57, e2020WR027828. <https://doi.org/10.1029/2020WR027828>

Healy, R. W. (2010). *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.

Lamb, S. E., Haacker, E. M. K., & Smidt, S. J. (2021). Influence of irrigation drivers using boosted regression trees: Kansas High Plains. *Water Resources Research*, 57, e2020WR028867. <https://doi.org/10.1029/2020WR028867>

Majumdar, S., Smith, R., Butler, J. J. Jr., & Lakshmi, V. (2020). Groundwater withdrawal prediction using integrated multitemporal remote sensing data sets and machine learning. *Water Resources Research*, 56, e2020WR028059. <https://doi.org/10.1029/2020WR028059>

Marwaha, N., Kourakos, G., Levintal, E., & Dahlke, H. E. (2021). Identifying agricultural managed aquifer recharge locations to benefit drinking water supply in rural communities. *Water Resources Research*, 57, e2020WR028811. <https://doi.org/10.1029/2020WR028811>



National Agricultural Statistics Service. (2018). Table 8 - Irrigation wells used on farms: 2018. 2018 Irrigation and Water Management Survey. U.S. Department of Agriculture. [https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Online\\_Resources/Farm\\_and\\_Ranch\\_Irrigation\\_Survey/index.php](https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Online_Resources/Farm_and_Ranch_Irrigation_Survey/index.php)

Neely, W. R., Borsa, A. A., Burney, J. A., Levy, M. C., Silverii, F., Sneed, M. (2021). Characterization of groundwater recharge and flow in California's San Joaquin Valley from InSAR-observed surface deformation. *Water Resources Research*, 57, e2020WR028451. <https://doi.org/10.1029/2020WR028451>

Rateb, A., Scanlon, B. R., Pool, D. R., Sun, A., Zhang, Z., Chen, J., et al. (2020). Comparison of groundwater storage changes from GRACE satellites with monitoring and modeling of major U.S. aquifers. *Water Resources Research*, 56, e2020WR027556. <https://doi.org/10.1029/2020WR027556>

Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, J. T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W., & Lo, M. H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557(7707), 651–659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>