

# La exploración geohidrológica en México

Luis Velázquez Aguirre

Subgerencia de Exploración Geohidrológica, CNA

*A la fecha en México se ha realizado gran cantidad de estudios geohidrológicos; sin embargo, en la mayoría, el marco hidrogeológico adolece de deficiencias conceptuales y del detalle necesario para fundamentar proyectos específicos. De esta manera, la satisfacción de la demanda de agua subterránea y el establecimiento del modelo hidrológico, así como la administración científica del recurso, requieren de la aplicación de una política exploratoria producto de una planificación adecuada. Por otro lado, las actividades de exploración geohidrológica son multidisciplinarias; no obstante, el único medio que hasta el momento que permite en forma positiva el descubrimiento de nuevos acuíferos es la perforación exploratoria. Las perforaciones, cuando están técnicamente justificadas y son correctamente ejecutadas, constituyen la parte culminante de la exploración. Sin perforaciones de estudio, nunca se completará el proceso exploratorio. Una política exploratoria correcta es aquella que permita el equilibrio conveniente entre los trabajos de operación (campo) y los de integración y evaluación (gabinete) que promueva el empleo de nuevas tecnologías y de nuevos equipos susceptibles de aplicarse en forma eficiente y económica y que establezca un equilibrio entre los trabajos ejecutados por administración y los realizados por contrato.*

El agua subterránea alcanza niveles de importancia que tradicionalmente no se le reconocen; sobre todo, porque las obras que se realizan para su búsqueda y aprovechamiento no se perciben en su totalidad a simple vista y los estudios que se llevan a cabo son entendibles para un círculo muy reducido de especialistas. A nivel mundial, los métodos para conocer y aprovechar en forma óptima el agua subterránea han progresado mucho en los últimos años y están siendo investigados ampliamente en la actualidad. El objetivo general de estos esfuerzos se orienta a lograr la administración científica de este recurso.

La superficie del país, desde el punto de vista geohidrológico y en un sentido pragmático, puede dividirse en tres grandes grupos: áreas productoras, áreas con potencial geohidrológico y áreas con bajas o nulas posibilidades de encontrar acuíferos. De acuerdo con esta clasificación, pudiera considerarse prioritario canalizar actividades para definir la capacidad de producción en las áreas con potencial geohidrológico. Sin embargo, los estudios realizados indican que aun en las zonas de intensa explotación se requieren

actividades complementarias relacionadas con la exploración.

Adicionalmente a los problemas ligados a la fisiografía del país, y, por tanto, al carácter montañoso de las zonas potencialmente explotables y a la disparidad de los recursos hidráulicos, se plantea la necesidad de la búsqueda de nuevas fuentes de agua subterránea, independientemente de que se trate de zonas áridas o templadas, montañosas, marginadas o de producción elevada.

En efecto, en muchas de las áreas de producción, la explotación del recurso es producto de la costumbre y en la mayoría de los casos se desconoce su potencial real; y en otros, existen alternativas de explotación, quizás más profundas, que también se desconocen. Es un hecho que el pobre conocimiento que se tiene de la geología del subsuelo a las profundidades de la demanda actual, constituye una de las mayores deficiencias básicas en los estudios geohidrológicos. Esto conduce, entre otras cosas, a que la administración del recurso, en las zonas consideradas "sobreexplo-tadas", se vea obstaculizada por la información

mal fundamentada y de poco alcance en que se sustenta el conocimiento geohidrológico.

La satisfacción de la demanda de agua subterránea y el establecimiento del marco hidrogeológico adecuado requieren de la aplicación de una política exploratoria, producto de una planeación correcta, que integre los requerimientos al corto plazo y las necesidades al mediano y largo plazos, concordante con los planteamientos y tendencias del desarrollo del país. Así mismo, se deberán emplear nuevas tecnologías y equipos en forma eficiente y económica y, sobre todo, se deberá adecuar la estructura de los trabajos de campo y gabinete y buscar un equilibrio entre los realizados por la administración y los efectuados por medio de contrato.

En este contexto, el marco de referencia de la exploración geohidrológica plantea la situación y problemática actual y da las perspectivas y alcances de la exploración; así mismo, se requiere de una estrategia que permita la consecución de un conocimiento mejor y oportuno del marco hidrogeológico de las principales regiones geohidrológicas del país.

## **La exploración geohidrológica**

### *Marco de referencia*

En México, en los últimos 20 años se ha desarrollado a gran escala la explotación del agua subterránea, pero aun en la actualidad hay incertidumbre sobre nuestras reservas y nuestra disponibilidad. Se ha mencionado que la reserva probada del país es equivalente a la recarga de los acuíferos estudiados y que la disponibilidad es la capacidad de producir la reserva a un determinado ritmo. Sin embargo, los 55 000 Mm<sup>3</sup> de recarga anual estimada y los 28 000 Mm<sup>3</sup> de extracción son valores globales que no reflejan la realidad, ya que la concentración de la explotación ha propiciado cerca de 80 acuíferos sobreexplotados que minan las reservas en 10 000 Mm<sup>3</sup> por año; además, la reserva, en los primeros 200 m de profundidad, se establece a partir de suposiciones gruesas, entre 1 y 5 billones de metros cúbicos.

A la fecha, se ha cubierto una superficie del orden de 900 000 km<sup>2</sup> con estudios geohidrológicos; sin embargo, la calidad de los estudios realizados es muy variada, pero ninguno puede considerarse como exhaustivo; algunos contienen una evaluación burda, y otros son apenas cualitativos, pero en la mayoría el modelo hidrogeológico básico adolece de errores conceptuales y, por lo general,

es de carácter simplista. No obstante, los estudios correspondientes a las zonas más desarrolladas describen con cierta amplitud las características y comportamiento de los sistemas acuíferos.

En el estudio de las principales zonas acuíferas se han aplicado las bases teóricas y las metodologías ampliamente aceptadas en el ámbito de las especialidades involucradas, pero debe reconocerse que la información básica suele ser insuficiente o de dudosa confiabilidad; por esto último, la mayoría de los estudios carece del detalle necesario para fundamentar proyectos específicos.

La exploración geohidrológica oficial tiene sus orígenes en los Departamentos de Estudio y de Perforación de la Dirección de Aguas Subterráneas creada en el año de 1966 en la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). En 1972, con la fusión de la Dirección de Aguas Subterráneas y la Gerencia de Zonas Áridas, nació la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. En 1979 cambió a Subdirección de Geohidrología y las funciones de exploración geohidrológica quedaban a cargo de los departamentos de: Prospección Geohidrológica (antiguo Departamento de Geohidrología) y el de Perforación Exploratoria. En 1982, el Departamento de Hidrología Subterránea cambió a Departamento de Evaluación Geohidrológica.

En 1986, la Subdirección de Geohidrología se transformó en Dirección de Aguas Subterráneas y los departamentos de Prospección Geohidrológica, Hidrología Subterránea y Perforación Exploratoria, cambiaron a las subdirecciones de: Prospección Geohidrológica, Estudios Geohidrológicos y Perforación Exploratoria, respectivamente. En 1988, las Subdirecciones de Prospección Geohidrológica y Perforación Exploratoria formaron la actual Subgerencia, de Exploración Geohidrológica, con lo quedó integrada la prospección directa o indirecta y, además, los estudios geohidrológicos preliminares que realizaba la Subdirección de Estudios Geohidrológicos pasaron a ser actividad de esta subgerencia quedando específicamente a cargo de la Jefatura de Proyecto de Evaluación Preliminar.

La Subgerencia de Exploración Geohidrológica promueve la aplicación de las tecnologías avanzadas en la prospección y evaluación preliminar del agua subterránea; así mismo, la celebración de convenios de perforación y estudios con otras dependencias y organismos descentralizados. Por otro lado, en el seno de la Comisión Nacional del Agua (CNA), aporta los lineamientos, procedimientos y manuales para llevar a cabo las activi-

dades inherentes a las funciones que tiene asignadas; lo anterior con objeto de uniformar el criterio de ejecución de esta actividad por parte de las Gerencias Estatales, Regionales y otras Subdirecciones de la CNA.

En los últimos seis años los logros más relevantes alcanzados en materia de exploración geohidrológica son: el descubrimiento de los acuíferos, en rellenos del bolsón de "El Sauz" y "Conejos Médanos" en el estado de Chihuahua; el acuífero en calizas y dolomías de "Mochitlán" al sur de Chilpancingo, en Guerrero; el acuífero en calizas de "Las Terneras" al sur de Saltillo, Coahuila; así como el establecimiento del modelo hidrogeológico del acuífero en calizas de la costa caribe al noroeste de Quintana Roo, conocido como "Corredor Turístico Cancún-Tulum".

Actualmente se tienen resultados de estudios en las zonas "La Cañada" y "El Istmo" en Oaxaca, la "Zona Arrocera" en Tabasco y Campeche, entre otras, y se trabaja en la modelación hidrogeológica del acuífero de la Comarca Lagunera y el de Nochixtlán en Oaxaca.

### La problemática de la exploración geohidrológica en México

La exploración geohidrológica se define como el conjunto de actividades tendientes a descubrir, en el menor tiempo y al menor costo, nuevas zonas acuíferas. Debe entenderse que el concepto exploración es una inversión y no simplemente un gasto.

Macías-González (1986) en su obra *Actitudes en la Exploración del Agua Subterránea* indica que: *"la exploración del agua subterránea ha sido desde siempre una actividad controvertida por las diferentes actitudes que los individuos o entidades encargados de practicarla, asumen con respecto a los conceptos fundamentales del conocimiento: creer, saber y conocer."*

Así mismo, establece que aun en la actualidad, y contrario a lo que pudiera esperarse, *"el tópico de la exploración del agua subterránea no ha cambiado sustancialmente. Para algunos, el fenómeno continúa tratándose a través de artificios de carácter extrasensorial, con lo que se sigue enmarcando a esta práctica y al fenómeno en sí, dentro del campo de lo sobrenatural. En contraste, para desafortunadamente la mayoría, la exploración geohidrológica, e inclusive también la cuantificación de cuencas, es una tarea tan simple y tan sencilla de realizar por el solo hecho de poseer algunos 'saberes' y 'creencias'."*

En cierta forma, continúa diciendo Macías (op. cit.): *"las actitudes oscurantistas del Medioevo, se con-*

*tinúan practicando en muchas partes del territorio nacional por 'carólogos', 'pendulistas', 'algodoneros', 'caminantes de la noche', operadores de resistivímetros, perforadores prácticos, aforadores, y pseudotécnicos de diversas ramas de la ingeniería que se han convertido en los brujos y sacerdotes de la antigüedad."*

Finalmente, concluye que: *"en la actualidad se tiene una abundante y variada gama de prospectores de agua subterránea. La ocurrencia de esta variada gama trae aparejada, como consecuencia, una diversidad de ACTITUDES sustentadas en 'Creencias' y 'Saberes' alejados del dominio del conocimiento científico, y específicamente del aplicado a la Exploración Geohidrológica. Es así que en la práctica de todas esas 'Actitudes', ha traído como consecuencia un desvirtuamiento casi total de la exploración del agua subterránea en México."*

Por otro lado, las actividades de exploración geohidrológica comprenden la realización de estudios de diferentes disciplinas tendientes al establecimiento de la existencia de condiciones favorables para encontrar el agua subterránea y la perforación exploratoria en sitios adecuadamente localizados; es el único medio, hasta el momento, que permite en forma positiva el descubrimiento de nuevos acuíferos. Las perforaciones de exploración, cuando están científica y técnicamente justificadas y son correctamente ejecutadas, constituyen la parte culminante de la exploración geohidrológica. Sin perforaciones de exploración nunca se completará el proceso exploratorio.

De la misma manera, la geología del subsuelo, básica en el entendimiento del marco hidrogeológico, es poco conocida. Las exploraciones petroleras suelen aportar pocos datos a los estudios geohidrológicos locales, porque el rango de profundidad de la investigación no es compatible con el geohidrológico. Por otro lado, los pozos de explotación de los acuíferos no constituyen fuente importante de información acerca del subsuelo; en su mayoría, los perforistas no acostumbraban formar y conservar expedientes técnicos; por su parte, los usuarios sólo tienen vaga idea, si acaso, de las características de las captaciones.

Debido a lo anterior, la geometría y litología de los acuíferos tienen que inferirse. Este pobre conocimiento de la geología del subsuelo, aun en zonas plagadas de pozos de explotación, constituye una de las mayores deficiencias básicas de los estudios geohidrológicos.

Pese al notable desarrollo de la tecnología de perforación, en nuestro país, la construcción de pozos en la práctica (dentro del ámbito hidráulico)

ha caído en un estancamiento o, más aún, en un retroceso técnico. La perforación por administración es entorpecida por problemas laborales, restricciones económico-administrativas y falta de personal operario calificado. Por otra parte, la perforación comercial podría ofrecer una mejor opción, de contar con los elementos de *supervisión adecuada* (continua) y de un *control estricto* de la obra mediante contrataciones de carácter modular; es decir, establecer los mecanismos para el uso racional de fluidos de perforación, registros de pozos, limpiezas, desarrollos y afloros cuidadosos que se traducirían en datos de calidad del subsuelo, tanto de carácter geológico como geohidrológico.

El método geofísico de sondeos eléctricos verticales (SEV) se ha venido utilizando masivamente en hidrogeología con resultados muy valiosos en la mayoría de los casos; sin embargo, en situaciones donde el uso indiscriminado del SEV, o cuando las condiciones del subsuelo se apartan sensiblemente de las teóricas, se llega a resultados pobres y de poca utilidad práctica. De esta manera, un programa de exploración geohidrológica moderno, requiere de otros métodos geofísicos susceptibles de emplearse como el gravimétrico, el de sondeos electromagnéticos, el sísmico y el de polarización inducida, entre otros.

En el ámbito de la prospección, el uso de imágenes de satélite es una técnica moderna obligada dado el alcance y resolución que actualmente posee. Así mismo, el uso cada vez más frecuente de las técnicas de registros de pozos deberá de tomarse en cuenta en un programa exploratorio; sin embargo, para llevarlos a cabo se requiere antes que nada de la perforación.

#### *Recursos humanos*

La obtención de resultados de primera calidad es función del elemento humano y está ligada a su optimización. En general, el personal relacionado con la exploración geohidrológica es insuficiente; además, la mayoría de las unidades de exploración está suboptimizada y subutilizada por problemas derivados, primero de la falta de capacitación y segundo, de la poca o mala canalización del presupuesto requerido para trabajar en su especialidad. Por otro lado, existe un importante desequilibrio entre el personal que lleva a cabo trabajos de operación en el campo y el que realiza trabajos de interpretación, integración y evaluación. Las restricciones han obligado a la habilitación de personal no calificado, además de

propiciar el desinterés del propio personal en realizar el trabajo para el cual fue contratado y facilitar que éste sea utilizado en otras actividades.

El desequilibrio que existe entre los trabajos de operación en el campo y los de interpretación, integración y evaluación, propicia que en los archivos se tenga gran cantidad de información proveniente de la operación, obtenida a alto costo y cuya calidad y contenido, en muchos casos, son prácticamente desconocidos. Esta información puede perderse por falta de control y no ha sido valorada e interpretada con oportunidad. Además, se hace indispensable un reciclaje o retroalimentación de los resultados obtenidos en la actividad desarrollada por los que operan (ejecutan) y los que integran y evalúan; hoy en día sus trabajos se desarrollan de manera independiente.

#### *Equipos*

Los principales equipos disponibles para la exploración geohidrológica por administración son las máquinas perforadoras, sus equipos periféricos y los de aforo. Se cuenta con 35 equipos con capacidad de perforar 200 metros a 8" de diámetro, y con 23 equipos para efectuar sondeos (4" de diámetro) hasta 300 metros. Estos equipos se encuentran ubicados en las subgerencias de administración del agua del país, con excepción de Nayarit, Tlaxcala y Tabasco.

Si se consideran los años de servicio de los equipos, 39 de ellos han rebasado su vida útil, lo que aunado a su deficiente mantenimiento ha propiciado su deterioro paulatino. En vista de esto, su rehabilitación tendría como resultado equipos con eficiencias y capacidades muy inferiores comparadas con las necesidades de exploración actuales.

#### **Perspectivas y alcances de la exploración geohidrológica en México**

Los actuales requerimientos de agua subterránea y los que en un futuro se identifiquen se localizan y localizarán en regiones geológicamente cada vez más complejas, donde se desconoce el marco que gobierna la presencia de agua subterránea. Es imperativo que los estudios deban encaminarse a conocer el funcionamiento hidrogeológico de materiales como: las ignimbritas de la Mesa Central y la Mesa del Norte; los basaltos y andesitas del Eje Neovolcánico y las calizas ampliamente dispersas en el territorio nacional. Estos materiales revisten cada día más importancia dada la

condición geohidrológica de los acuíferos constituidos por materiales granulares, otrora suficientes.

El desarrollo económico alcanzado por el país y la necesidad de proporcionar alternativas de abastecimiento de agua, hacen necesario atender la problemática de la exploración geohidrológica con una política exploratoria moderna, integral y eficiente.

Una política exploratoria correcta es aquella que permita el equilibrio conveniente entre los trabajos de operación (campo) y los de integración y evaluación (gabinete); que promueva el empleo de nuevas tecnologías y de nuevos equipos susceptibles de aplicarse en forma eficiente y económica, y que establezca un equilibrio entre los trabajos ejecutados por administración y los realizados por contrato.

Como parte fundamental, está el promover y fomentar la participación de usuarios a fin de extender el financiamiento de acciones exploratorias a nivel regional para que los resultados así encontrados puedan extrapolarse hacia zonas marginadas; así mismo deberá adecuarse la normatividad central para una eficiente descentralización de actividades.

Como objetivos de una política exploratoria se tendrían los siguientes:

- Incrementar el conocimiento de la disponibilidad del agua en áreas donde escasea el recurso.
- Fortalecer el desarrollo de áreas productivas que dependan de la extracción de aguas del subsuelo.

De acuerdo con los objetivos señalados y con la problemática planteada, la aplicación de una política de exploración geohidrológica se concibe en el marco de la formulación de programas integrales por regiones hidrogeológicas y se sustenta en las siguientes líneas estratégicas fundamentales.

*Impulsar la capacitación y fomentar la actualización del conocimiento geológico e hidrogeológico a nivel regional*

Es un hecho conocido que la actividad exploratoria es cada vez más compleja, debe llevarse a cabo bajo muy diversas condiciones de operación y está ligada a factores de muy variada naturaleza. Entre ellos, destacan por su importancia, los conocimientos y la experiencia del personal que ejecuta los trabajos. Se requiere de la instrumentación de

talleres de capacitación que eleven el conocimiento de los aspectos geológicos e hidrogeológicos básicos; así como la preparación del personal en el manejo de nuevas tecnologías y herramientas de trabajo.

*Desarrollar programas exploratorios de acuerdo con una aplicación de tecnologías modernas, estableciendo el equilibrio entre los trabajos por administración y los de contrato*

Es evidente la necesidad de emplear en la exploración nuevas tecnologías y nuevos equipos en forma eficiente y económica, lo cual no se podría lograr si los trabajos se hicieran exclusivamente por la administración, ya que la tecnología exploratoria se desarrolla con mucha rapidez y los equipos pronto serían obsoletos. Es preciso desarrollar la aplicación de imágenes de satélite, de métodos alternos de exploración geofísica y de registro de pozos. Para ello, la participación de las empresas de consultoría será relevante. Los servicios a contrato serán la principal herramienta de las operaciones exploratorias y para la administración quedarán aquellas relacionadas como parte de la supervisión e integración de resultados, complementados estos últimos, con servicios a contrato adicionales a los de operación o la perforación exploratoria.

*La aplicación correcta e intensiva de la supervisión de los trabajos de campo*

Para que la exploración sea eficiente y efectiva, se necesita hacer una supervisión conveniente, tanto de los trabajos que se realizan directamente por la administración como de los llevados a cabo por contratistas. Es una realidad que la supervisión de los trabajos de campo requiere de una capacidad y experiencia muy amplia por parte de quien la ejecuta. Para ello es necesario el fortalecimiento de los cuerpos de trabajo de la CNA, así como complementar este ejercicio con servicios de consultoría de alto nivel.

*Adecuar la estrategia actual en el manejo de los equipos de perforación mediante la aplicación de perforación modular*

Los trabajos de exploración, como se ha mencionado, comprenden la realización de estudios multidisciplinarios y la ejecución de perforaciones técnicamente justificadas, que constituyen la parte decisiva del proceso exploratorio.

La aplicación de una supervisión adecuada y de un control estricto de los trabajos de perforación, mediante contrataciones en paquete (modulares) permitirá el avance de la obra en función de los resultados parcialmente obtenidos, hasta lograr que el pozo así construido realmente signifique una ventana del subsuelo que en forma definitiva compruebe o deseche hipótesis de trabajo previamente establecidas.

*Tomar medidas correctivas necesarias respecto a la dirección y control de la exploración y a la estructura organizativa*

Promover la contratación oportuna de personal profesional y fomentar la capacidad administrativa de mantener la plantilla de personal especializado. También, elevar el interés del personal para capacitarse y desarrollarse.

Reestructurar la organización actual para hacerla competitiva; es decir, equilibrar los trabajos de operativos (campo) con los de integración y evaluación (de gabinete), para ello se requiere de la participación coordinada de los niveles ejecución en las gerencias estatales, de supervisión a nivel regional y de integración a nivel central.

## Bibliografía

- Comisión Nacional del Agua. *Estrategias 1990-1994*, doc. int., enero, 1990.
- Castillo Tejero C. "Importancia de una nueva política de exploración petrolera", *Ingeniería*, vol. LX, núm. 2, F. I., UNAM, abr-jun., 1990.
- Chávez Guillén R. "Evaluación de acuíferos", Academia Mexicana de Ingeniería: *Alternativas tecnológicas*, núm. 30, nov., 1989.
- Macías González H. L. "Actitudes en la exploración del agua subterránea", Academia Mexicana de Ingeniería: *Alternativas tecnológicas*, núm. 19, nov., 1986.
- Morales Escalante R. "Sobreexplotación de acuíferos", Academia Mexicana de Ingeniería: *Alternativas tecnológicas*, núm. 30, nov., 1989.
- Velázquez Aguirre L. y Tinajero González J. A. "Formación de recursos humanos en geohidrología", Academia Mexicana de Ingeniería: *Alternativas tecnológicas*, núm. 30, nov., 1989.
- Velázquez Aguirre L. y Tinajero González J. A. "La sobreexplotación del agua subterránea en México", *Ingeniería Civil*, núm. 232 (CICM), nov.-dic., 1985.
- SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. *Actualización del inventario de aguas subterráneas*, Proyecto IA-8404, doc. int., 1984.