


Conceptos científicos y sus implicaciones políticas en el manejo de las aguas transfronterizas

México-Estados Unidos: ¿Acuífero transfronterizo o aguas subterráneas transfronterizas?

Scientific concepts and their political implications in the management of Mexico-U.S. Transboundary water courses: Transboundary Aquifer or Transboundary Groundwater?

Gonzalo Hatch-Kuri

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro
Santiago de Querétaro, Querétaro, México
ghatch@comunidad.unam.mx
 ORCID: 0000-0002-5189-4708

José Joel Carrillo-Rivera

Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México
joeljcr@igg.unam.mx
 ORCID: 0000-0001-5577-7886

Información del artículo

Recibido: 11 septiembre 2020

Revisado: 22 abril 2021

Aceptado: 21 septiembre 2021

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/AT.21.5738

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

RESUMEN

El concepto acuífero transfronterizo previsto en la Resolución de Naciones Unidas 63/124 ha tenido un impacto significativo en la evaluación de los acuíferos transfronterizos. En el caso México-Estados Unidos, no ha sido posible determinar oficialmente el número total de acuíferos compartidos, mucho menos se ha podido evaluar el funcionamiento sistémico del agua subterránea, debido a una falta de claridad conceptual en el tema. Esta contribución efectúa un análisis basado en la revisión crítica de evidencia científica y legal para determinar la naturaleza de las discrepancias conceptuales entre las definiciones científicas de acuífero transfronterizo y agua subterránea transfronteriza, desde un enfoque interdisciplinario (geografía política e hidrogeología). Los resultados sugieren la necesidad de incorporar una visión sistémica y social para lograr la gestión de las aguas subterráneas compartidas, así como la homologación de metodologías entre ambos países.

PALABRAS CLAVE: Acuíferos transfronterizos, Agua subterránea, Gestión, Geografía política, México-EE.UU.

ABSTRACT

The transboundary aquifer concept envisaged in the United Nations Resolution 63/124 has had a significant impact on the evaluation of transboundary aquifers. In the Mexico-U.S.A. case, it has not been possible to officially determine the total number of shared aquifers, therefore, the evaluation of groundwater is to be settled; it represents a lack of conceptual clarity on the subject. This contribution from an interdisciplinary approach (political geography and hydrogeology) carries out an analysis based on scientific evidence and legal documents to

determine the nature of the current conceptual discrepancies between the scientific definitions of transboundary aquifer and transboundary groundwater. Results suggest the need to incorporate a systemic vision on the transboundary groundwater management, as well as the scientific homologation of concepts and methodologies applied for both countries guarantee an integrated transboundary water management with societal participation.

KEYWORDS: Transboundary aquifers, Transboundary groundwater, Management, Political geography, México-U.S.A.

Concepts scientifiques et leurs implications politiques dans la gestion des eaux transfrontières Mexique-États-Unis: aquifère transfrontière ou eaux souterraines transfrontières?

RÉSUMÉ

Le concept d'aquifère transfrontière envisagé dans la résolution 63/124 des Nations Unies a eu un impact significatif sur l'évaluation des aquifères transfrontières. Dans le cas du Mexique-États-Unis, il n'a pas été possible de déterminer officiellement le nombre total d'aquifères partagés, et encore moins d'évaluer le fonctionnement systémique des eaux souterraines, en raison d'un manque de clarté conceptuelle sur le sujet. Cette contribution fait une analyse basée sur l'examen critique des preuves scientifiques et juridiques pour déterminer la nature des divergences conceptuelles entre les définitions scientifiques de l'aquifère transfrontière et des eaux souterraines transfrontières, dans une approche interdisciplinaire (géographie politique et hydrogéologie). Les résultats suggèrent la nécessité d'intégrer une vision systémique et sociale pour parvenir à une gestion partagée des eaux souterraines, ainsi que la standardisation des méthodologies entre les deux pays.

MOTS CLÉS: Aquifères transfrontaliers, Eaux souterraines, Gestion, Géographie politique, Mexique-États-Unis.

Conceitos científicos e suas implicações políticas na gestão das águas transfronteiriças México-Estados Unidos: aquífero transfronteiriço ou águas subterrâneas transfronteiriças?

RESUMO

O conceito de aquífero transfronteiriço previsto na Resolução 63/124 das Nações Unidas teve um impacto significativo na avaliação dos aquíferos transfronteiriços. No caso México-Estados Unidos, ainda não foi possível determinar oficialmente o número total de aquíferos compartilhados, nem avaliar o funcionamento sistêmico das águas subterrâneas, devido à falta de clareza conceitual sobre o assunto. Esta contribuição faz uma análise baseada na revisão crítica de evidências científicas e jurídicas para determinar a natureza das discrepâncias conceituais entre as definições científicas de aquífero transfronteiriço e águas subterrâneas transfronteiriças, a partir de uma abordagem interdisciplinar (geografia política e hidrogeologia). Os resultados sugerem a necessidade de incorporar uma visão

sistêmica e social para alcançar a gestão compartilhada das águas subterrâneas, bem como a padronização de metodologias entre os dois países.

PALAVRAS-CHAVE: Aquíferos transfronteiriços, Águas subterrâneas, Gestão, Geografia política, México-EUA.

Concetti scientifici e loro implicazioni politiche nella gestione delle acque transfrontaliere Messico-Stati Uniti d'America: aquífero transfrontaliero o acque sotterranee transfrontaliere?

SOMMARIO

Il concetto di aquífero transfrontaliero previsto nella risoluzione delle Nazioni Unite 63/124 ha avuto un impatto significativo sulla valutazione degli aquíferi transfrontalieri. Nel caso del Messico-Stati Uniti non è stato possibile determinare ufficialmente il numero totale di aquíferi condivisi, tanto meno è stato possibile valutare il funzionamento sistemico delle acque sotterranee, per mancanza di chiarezza concettuale sull'argomento. Questo contributo fa un'analisi basata sulla revisione critica delle prove scientifiche e legali per determinare la natura delle discrepanze concettuali tra le definizioni scientifiche di aquífero transfrontaliero e acque sotterranee transfrontaliere, da un approccio interdisciplinare (geografia politica e idrogeologia). I risultati suggeriscono la necessità di incorporare una visione sistemica e sociale per ottenere una gestione condivisa delle acque sotterranee, nonché la standardizzazione delle metodologie tra i due paesi.

PAROLE CHIAVE: Aquíferi transfrontalieri, Acque sotterranee, Gestione, Geografia politica, Messico-Stati Uniti.

Introducción¹

Existen 276 cuencas hidrográficas consideradas como transfronterizas (compartidas por dos o más naciones) por las que circula el 60 % del agua dulce, las cuales son compartidas por 145 países. Empero, esta descripción no incluye un componente fundamental del ciclo hidrológico: el agua subterránea. Organismos como el International Groundwater Resources Assessment Center (IGRAC) y la UNESCO han inventariado 592 acuíferos transfronterizos, en consecuencia, algunos estados han iniciado su evaluación científica². En México, se reconocen oficialmente 11 acuíferos compartidos con Estados Unidos y otros siete con Guatemala y Belice. México posee acuerdos para gestionar sus cuencas hidrográficas transfronterizas, como el Tratado de Aguas de 1944 firmado con Estados Unidos, pero esto no se ha podido replicar en la frontera sur; mientras que, en lo que referente al agua subterránea, en 2016 Estados Unidos concluyó un programa de evaluación binacional Transboundary Aquifer Assessment Program (TAAP), que caracterizó cuatro acuíferos compartidos. Posteriormente, en 2019, se celebró la Cumbre Binacional sobre Aguas Subterráneas Transfronterizas México-Estados Unidos, espacio en el que se discutieron los resultados del TAAP y de paso se hicieron manifiestas las asimetrías científicas, institucionales, jurídicas y financieras entre ambos países, las cuales inciden en la evaluación de esta agua, situación que retrasa su reconocimiento como cauce internacional³. La presente contribución discutirá, desde un enfoque interdisciplinario (geografía política e hidrogeología), las implicaciones de dos asimetrías, es decir, la científica y su relación con los marcos regulatorios hídricos existentes en la frontera México-Estados Unidos.

A finales del 2009, se aprobó el proyecto de resolución 63/124 *El Derecho a los Acuíferos Transfronterizos*, en el que se define el concepto acuífero transfronterizo como:

“la formación geológica permeable portadora de agua, situada sobre una capa menos permeable, y el agua contenida en la zona saturada de la formación. Esta formación geológica, puede además estar vinculada hidráulicamente entre sí con otros acuíferos, formando de esa manera un Sistema Acuífero Transfronterizo el cual, por su extensión geológica, puede tener diferentes partes situadas en distintos estados”.

Desde una perspectiva hidrogeológica, la anterior definición resalta la importancia del referente geológico particular, la roca, y del agua que la satura, así como su característica principal, que corresponde al tamaño de la extensión de la formación geológica, siendo este el principal elemento que servirá para determinar su condición transfronteriza, lo que subsume *a posteriori*, la evaluación del agua subterránea (Sistemas de Flujo de Agua Subterránea). En contribuciones previas⁴, se demostró que la evaluación de los acuíferos transfronterizos se ha orientado en el sentido del concepto científico y jurídico, dejando en un segundo nivel de importancia la evaluación científica propiamente del agua subterránea. Esta situación sugiere que se ha dejado de lado la importancia del agua subterránea como fuente de abastecimiento, lo que ha reforzado una idea equívoca de que el concepto acuífero (roca saturada con agua) es sinónimo de agua subterránea y, por ende, el primero sería el principal elemento de aprovechamiento, en detrimento del agua.

Codificar en la ley el agua subterránea como un cauce transfronterizo, exige claridad conceptual y metodológica con base en evidencia científica, a fin de dar certeza a los procedimientos aplicados, los acuerdos normativos y al impacto de sus resultados en el contexto de esquemas de gestión conjuntos de esta agua⁵. Visto lo anterior, este trabajo tiene por objetivo analizar las implicaciones científico-políticas, entendidas a partir del concepto ciclo hidrosocial, con relación al empleo particular de los términos científicos acuífero transfronterizo y aguas subterráneas transfronterizas, en el contexto de los trabajos de evaluación científica binacional México-Estados Unidos y sus implicaciones políticas para la relación bilateral.

A partir de un enfoque teórico de carácter interdisciplinario que combina las herramientas metodológicas de la geografía política y de la hidrogeología, se parte de una crítica fundamentada en las limitaciones epistemológicas del ciclo hidrológico, en el que se ha soslayado tanto el funcionamiento sistémico del agua subterránea, así como ha sido omiso a otras dimensiones como las relaciones sociales, el ejercicio del poder y el entendimiento de las implicaciones de la extracción del agua. Posteriormente, a lo largo de tres apartados que refieren al estudio de caso, se identifican y discuten de forma comparada los conceptos científicos existentes de agua subterránea y acuífero en los principales instrumentos

1. La presente investigación fue financiada por el CONACYT (Beca Posdoctoral No. 740288/CVU 270007). Se agradece la colaboración de la estudiante Dulce Sofía Hernández (Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ).

2. International Groundwater Resources Assessment Center (IGRAC), 2018.

3. Hatch-Kuri, 2019a.

4. Hatch-Kuri, 2019b.

5. Rivera y Candela, 2018.

regulatorios de las aguas transfronterizas, así como en los marcos legales del agua de México y el sur de los Estados Unidos, a fin de determinar semejanzas, analogías o, en su caso, asimetrías. Finalmente, se plantea un análisis breve de los avances en la caracterización de los acuíferos transfronterizos México-Estados Unidos, y se concluye proponiendo una definición científica de agua subterránea transfronteriza, como referente para la gestión del inventariado y caracterización de esos cursos de agua en ambos países.

El agua subterránea: subrepresentada, fragmentada y despoltizada

El agua es un elemento híbrido que conjunta dos dimensiones que se estudian dicotómicamente en la geografía y en la ciencia: la natural y la social. Su movilidad planetaria facilita el contacto social para su apropiación y transformación a través de una infinidad de procesos tanto biológicos como materiales. Sin embargo, la explicación científica de dichos procesos se caracteriza por una excesiva fragmentación epistemológica, lo que ha dado lugar al estudio particular de lo que en el espacio se manifiesta como múltiples tipos de aguas con diferentes propiedades, cualidades y atributos, y situadas en diversas escalas de análisis, verbigracia, las aguas rurales, las aguas urbanas, las aguas agrícolas, las aguas residuales, el agua potable, el agua tratada, el agua pluvial, las aguas recicladas, el agua embotellada, el agua purificada y, en escalas de mayor alcance regional, las aguas transfronterizas; un ejemplo al caso son las aguas subterráneas transfronterizas. Esta fragmentación es resultado de la transformación socio-técnica del agua, así como de la división del trabajo académico en los estudios multidisciplinarios del agua.

El agua subterránea constituye el 97 % del agua dulce continental y físicamente accesible, el 3 % restante está representado por el agua superficial, frecuentemente contaminada en diferentes niveles. Esto posiciona a la primera como un elemento de la naturaleza mayormente apropiado, incrementando así la presión sobre su extracción⁶. Las miradas esencialistas que prevalecen en el estudio del agua han jugado un papel

clave para que el agua subterránea carezca de prestigio social. Uno de ellos es su tratamiento científico, el cual es de extrema fragmentación epistemológica (geología, hidrogeología, hidrogeoquímica, ingeniería hidráulica, etc.), acentuando la aparente desconexión que existe de estos saberes con el estudio de las formas sociales de apropiación de esta agua. Algunos especialistas defienden la idea de que el conocimiento del agua subterránea debe ser, antes que nada, de carácter técnico, lo cual imposibilita la interacción con otros saberes que permitan el reconocimiento de las complejas formas que distinguen el metabolismo seminal de la relación ser humano-naturaleza⁷. Así, se verifica la omisión del agua subterránea en dos niveles epistemológicos: en el propio ciclo hidrológico⁸ y en la propuesta teórica del ciclo hidrosocial. Una visión sistémica permitiría reconocer la interdependencia de estos tres componentes, desde un sentido de complejidad y totalidad⁹.

Desde su formulación en 1931, el ciclo hidrológico fue conceptualizado para comprender el recorrido planetario en las diferentes fases físico-químicas del agua, pero en su abstracción y representación iconográfica, la fase correspondiente al movimiento y residencia del agua en el subsuelo, ha sido poco difundida y valorada. Aportaciones recientes de la hidrogeología fundamentan el funcionamiento sistémico del agua subterránea¹⁰ dentro del ciclo hidrológico para explicar los factores que inciden en el recorrido natural del agua por las rocas (acuíferos), su relación con las áreas de recarga (infiltración), áreas de tránsito y tiempos de residencia del movimiento del agua en el subsuelo (de decenas a millones de años), las áreas de descarga natural (en manantiales continentales o en los océanos), así como su interdependencia ecosistémica con el suelo, la vegetación, el clima y la geomorfología. De esta aportación, destaca que los conceptos acuífero y agua subterránea no son sinónimos¹¹, y que tanto el agua subterránea como la superficial son un elemento único, conectado a través de las áreas de recarga y descarga hídrica. El

6. Según UNESCO (WWP, 2017), el 80 % de las aguas residuales retornan a los ecosistemas sin un tratamiento adecuado; en América Latina entre el 70 y 80 % de las aguas negras se siguen vertiendo sin tratamiento previo. Hoy en día, a estas aguas contaminadas se les conoce como el oro negro, por su capacidad de crear plusvalía a partir de su tratamiento residual.

7. Moreira, 2010.

8. Una numerosa cantidad de representaciones gráficas del ciclo hidrológico se encuentran disponibles en la web, pero la que se ha replicado en la enseñanza es la del U.S. Geological Service.

9. Castro, 2007.

10. Tóth, 1999.

11. En los estudios sociales del agua existe poca claridad conceptual sobre los conceptos que definen el agua subterránea. Así, términos empleados usualmente como "mantos freáticos", "bolsones", "cuencas subterráneas", "nivel freático", "ríos subterráneos", etc., son empleados usualmente como sinónimos de agua subterránea y de la roca que la contiene (acuífero).

Ciclo Hidrológico y el Funcionamiento Sistémico del Agua Subterránea son un solo componente que expresa el recorrido planetario del agua por las diferentes capas del planeta, es decir, la atmósfera, biosfera, litósfera e hidrosfera.

Empero, un problema central es que en la descripción anterior sigue estando ausente el ser humano¹² que, precisamente, es la razón ontológica de los debates contemporáneos de los estudios interdisciplinarios del agua. Acuñaado en el entrecruce de la geografía y la ecología política, el Ciclo Hidrosocial propone un método para estudiar la organización espacial del agua, indicando que el agua se produce a través de un proceso infinito de hibridación de la naturaleza –en este caso el agua– como el reflejo de la relación metabólica-seminal del ser humano y la naturaleza. En este proceso, el agua integra formas particulares de relaciones sociales como componentes del espacio geográfico, es decir, formas hidrosociales particulares¹³. Una de estas formas es el aprovechamiento del agua subterránea en diferentes procesos, que, por su extracción, consumo, contaminación y capacidad de gestar conflictos, requiere una explicación teórica que supere los reduccionismos técnicos y la fragmentación epistémica de la que es objeto frecuentemente en la literatura especializada.

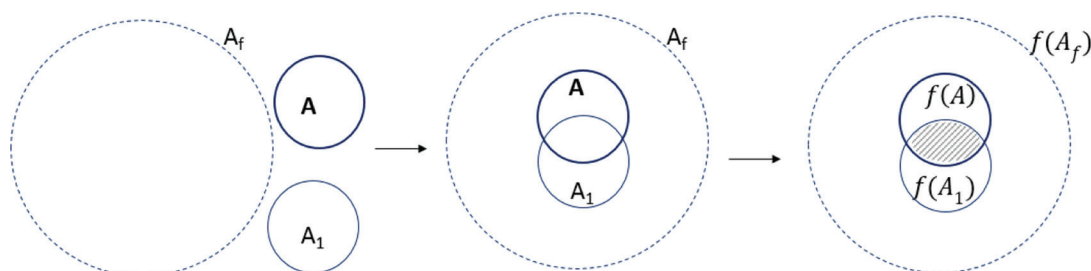
Desde este enfoque crítico, las relaciones sociales con el agua son al mismo tiempo relaciones de poder, las cuales se entretajan en siete fases distintas, pero en cada una se lleva a cabo el proceso de hibridación hídrica (natural-social). La primera fase es la científica –las formas epistemológicas que definen su entendimiento, ¿quién y cómo se decide qué es el funcionamiento del agua?–; la segunda es la técnica –la infraestructura para modifi-

car el ciclo hidrológico–; la tercera es el poder –¿quién y cómo controla el agua?–; la cuarta es la normativa

–¿cómo se regula o media la relación con el agua?–; la quinta son las relaciones sociales mediadas por el agua –cada forma particular de agua supone un conflicto–; la sexta es la experiencia –conjunto de saberes sobre el agua– y la séptima es la gestión –la instrumentalización de políticas de manejo social del agua–. Visto lo anterior, el proceso de la hibridación del agua subterránea dependería de su conceptualización epistémica, de las técnicas para su manejo, de las decisiones políticas y jurídicas y de los conflictos que se producen por las visiones encontradas entre todos los actores que intervienen en cada una de las fases descritas. El desafío es la integración de ambos ciclos, tanto el ciclo hidrológico –incluyendo el funcionamiento sistémico del agua subterránea– como el ciclo hidrosocial, los cuales desde nuestra perspectiva se pueden representar de la siguiente manera (Figura 1):

Tres funciones coexisten dentro del propio ciclo hidrosocial (A_f), integrando funciones sistémicas del ciclo hidrológico (A) y del funcionamiento del agua subterránea (A_1). El ciclo hidrosocial como función principal (f) engloba a su vez las funciones (f) de A y A_1 , es decir, los paréntesis externos representan la integración de funciones; la $f(A) + f(A_1)$ función de un ciclo; las variables que encierran los paréntesis internos simbolizan todas aquellas variables que conforman cada ciclo y sistema (precipitación, escurrimiento, infiltración, etc.); y el signo más (+) refiere a la conjunción (interrelación o dependientes) entre dos ciclos (A y A_1). Si se considera que las funciones del ciclo hidrológico $f(A)$ y el sistema de flujos de agua subterránea $f(A_1)$ forman parte de la

Figura 1. Integración del ciclo hidrosocial (A_f), ciclo hidrológico (A) y el funcionamiento sistémico del agua subterránea (A_1)



Fuente: elaboración propia a partir de Swyngedouw, 2009, y Linton & Budds, 2014.

¹² Desde la geografía se ha desarrollado en las últimas décadas un fecundo debate sobre la relación orgánica ser humano-naturaleza. Véase las obras de Smith (2010) y Moreira (2010).

¹³ Swyngedouw, 2009. Linton & Budds, 2014.

función hidrosocial $f(A_f)$, la expresión final es que sintetizaría una visión de totalidad y de interdependencia entre estos tres ciclos es:

$$f(A_f) = (f(A) + f(A_1))$$

Con esta abstracción, se pretende iniciar un debate académico, para representar y abstraer la compleja integración de dos ciclos que en apariencia están separados, pero que en realidad son una totalidad, porque revelan la dimensión de la relación metabólica-seminal ser humano-agua. Por lo anterior, en esta contribución serán objeto de interpretación únicamente las fases científica y del poder. La primera se explicará a través del debate conceptual que existe entre los conceptos acuífero y agua subterránea, vistos desde la explicación de la hidrogeología, mientras que, para la dimensión de poder, se agrega la cualidad transfronteriza, que involucra en este caso, el concepto soberanía. En el presente trabajo, se entiende a la soberanía como una expresión de la manifestación del poder de una determinada sociedad que tiene la capacidad de establecer sus normas internas para regular el acceso a sus elementos naturales fundamentales, como el agua y, por lo tanto, decide soberanamente –sin la injerencia de otro estado– de qué forma la usará, consumirá y distribuirá entre sus usuarios¹⁴.

¿Acuífero transfronterizo o agua subterránea transfronteriza?

En términos del derecho internacional aplicado a las aguas transfronterizas, existen dos instrumentos regulatorios vinculantes que, en su contenido, describen situaciones condicionales para que los estados identifiquen y reconozcan el agua subterránea transfronteriza. Por una parte, el Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales o Convenio UNECE de Helsinki, 1992, señala que el agua subterránea puede poseer el estatus transfronterizo siempre y cuando se verifique que esta es atravesada por una frontera internacional, y por otra parte, la Resolución de Naciones Unidas 51/229 Convención sobre el Derecho de los Usos de Agua Internacionales para Fines Distintos a la Navegación o Convención ONU de Nueva York, 1997, considera que los cursos de agua internacionales son una sola

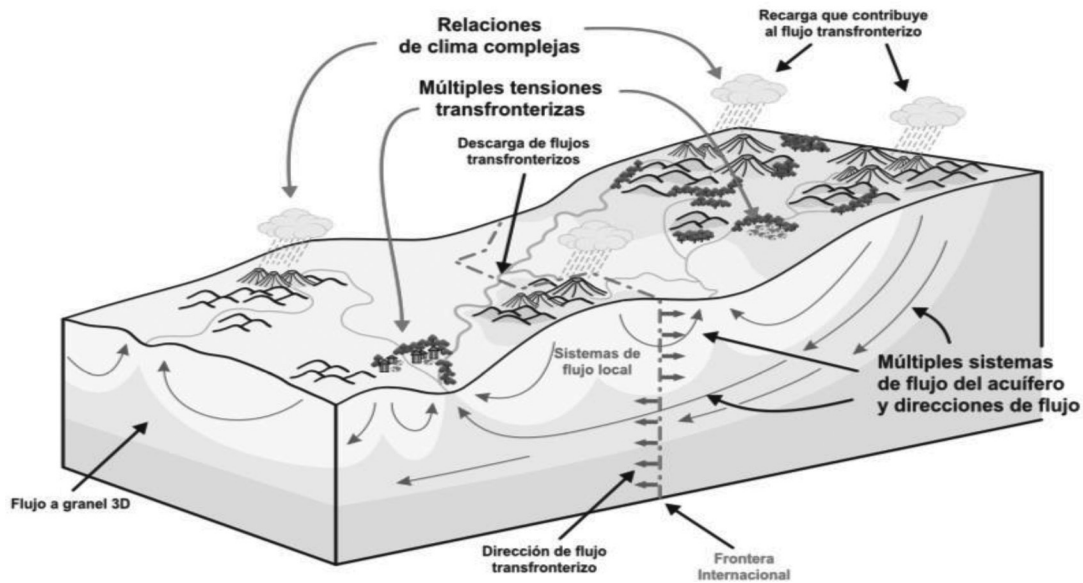
unidad física –superficial y subterránea–, por lo que el agua subterránea transfronteriza, entendida como sinónimo de acuífero transfronterizo para esta Convención, son únicamente aquellos acuíferos de naturaleza no confinada. La distinción entre ambas descripciones es conceptual, pues plantea dos términos diferentes: agua subterránea transfronteriza y acuífero transfronterizo. En sentido estricto, la última ignora toda el agua subterránea que se encuentre por debajo de un acuífero no confinado; esto es, cualquier acuífero de naturaleza transfronteriza que sea de naturaleza confinada o semi-confinada.

Mientras que el convenio UNECE de Helsinki, alude al agua subterránea a partir de la condicionante que implica la evaluación de su movimiento por debajo de la superficie terrestre (como sistema de flujo), exige para ello evidencias científicas que lo comprueben. Esto implica, de facto, que los estados interesados deban celebrar acuerdos para caracterizar el funcionamiento del agua subterránea y poder así verificar su condición de movimiento en la región transfronteriza. Por lo tanto, el concepto empleado es agua subterránea transfronteriza, mientras que, en la convención de la ONU de Nueva York, la definición parte del principio de que el agua subterránea fluye a través de los acuíferos. Esta situación implica, a la postre, que ya no sea más el agua subterránea el concepto que debe ser evaluado, por el contrario, se privilegia la determinación del tipo hidráulico (confinado o no confinado) del acuífero compartido (Figura 2, donde se ilustra un acuífero no confinado).

Ciertamente, esto es un aspecto positivo porque reconoce que el agua subterránea es una parte constitutiva fundamental del ciclo hidrológico en condiciones transfronterizas y, en consecuencia, cuestiona la viabilidad de continuar gestionando y regulando las aguas transfronterizas fragmentariamente, dicho de otro modo, una política hídrica y tratados internacionales para el agua superficial vs una política hídrica y tratados internacionales para el agua subterránea. Empero, si la definición agua subterránea transfronteriza es entendida como sinónimo de acuífero transfronterizo no confinado, esto conduce a subsumir en un acto, *a posteriori*, la evaluación del funcionamiento del agua subterránea dentro del acuífero –en contra de lo que sugiere el Convenio UNECE de Helsinki–. Prevalce así la necesidad de caracterizar, primeramente, el tipo de formaciones geológicas y verificar su naturaleza transfronteriza y no confinada, lo que excluye, además, otros tipos de unidades geológicas y su respuesta

¹⁴. Ribeiro, 2010.

Figura 2. Sistema Hidrológico Transfronterizo, figura adaptada de UNESCO, 2015



Fuente: recuperado y adaptado para fines explicativos de UNESCO, 2015.

a la extracción de agua por pozo como aquellas en condiciones confinadas y semi-confinadas. Así, para la convención de la ONU de Nueva York, la determinación del funcionamiento sistémico del agua subterránea ha quedado peligrosamente en un segundo plano.

No obstante, a fin de subsanar las diferencias conceptuales anteriormente descritas, se presentó en las Naciones Unidas en 2008 el Proyecto de Resolución 63/124, El derecho a los acuíferos transfronterizos, que reconoce al agua subterránea como cauce internacional. En este documento no existe la definición agua subterránea transfronteriza, en su caso en el artículo 2, se definen cuatro conceptos relativos al acuífero transfronterizo:

- a) Se entiende por acuífero una formación geológica permeable portadora de agua, situada sobre una capa menos permeable, y el agua contenida en la zona saturada de la formación; b) Se entiende por sistema acuífero una serie de dos o más acuíferos que están conectados hidráulicamente; c) Se entiende por acuífero transfronterizo o sistema acuífero transfronterizo, respectivamente, un acuífero o sistema acuífero que tenga partes situadas en distintos estados; d) Se entiende por estado del acuífero un estado en cuyo territorio se encuentra parte de un acuífero o sistema acuífero transfronterizo.

Estas definiciones resaltan, en efecto, la importancia primordial de conceptualizar, en primera instancia, las características del acuífero (litología, estratigrafía, estructura, conductividad hidráulica, porosidad), a fin

de poseer una visión 3D (geometría) y la información necesaria para determinar su condición transfronteriza. También se considera que el acuífero puede estar vinculado hidráulicamente con otros, gracias al movimiento de los flujos del agua entre estos, pero es evidente que esta conceptualización que ha servido para que los estados evalúen su agua subterránea en condiciones fronteras, deja en un segundo plano la evaluación científica del movimiento del agua en sistemas de flujo.

Resulta obvio que una caracterización adecuada de los acuíferos cuyas propiedades determinan el movimiento del agua es un acto imperativo, pero debe enfatizarse que una de las limitaciones fundamentales que transmiten las anteriores definiciones ligadas al acuífero es la noción de que el agua subterránea permanece estática y se encuentra almacenada en el subsuelo, en detrimento del cúmulo de evidencias científicas que concluyen que los Sistemas de Flujo de Agua Subterránea (SFAS) están situados a diferente profundidad y viajan con diferente velocidad espacio-temporal que permiten que se infiltre y emerja en superficie. En otras palabras, lo que está en movimiento es el agua, no el referente geológico particular como privilegia esta conceptualización¹⁵.

La UNECE, por su parte, considerando el contenido mandatorio del Convenio de Helsinki, publicó las Disposiciones Modelo para las Aguas Subterráneas Trans-

¹⁵ Tóth, 1999. Russell et al., 2017.

fronterizas (2014) a efecto de precisar qué es lo que se debe gestionar, evaluar y bajo qué principios debe hacerse. En su introducción, se reconoce la existencia de una discrepancia conceptual entre acuífero transfronterizo y agua subterránea transfronteriza, pero señala que el citado Convenio mandata evidenciar la condición transfronteriza del agua subterránea, es decir, que su movimiento en flujo sea compartido por dos o más estados, afirmación que, huelga decir, no excluye la determinación de las condiciones particulares de los acuíferos, por el contrario, es un componente intrínseco a esta¹⁶.

Otro documento semejante son las Estrategias Regionales para la Evaluación y Gestión de los Acuíferos Transfronterizos en las Américas¹⁷ que tiene la finalidad de que los estados americanos se orienten para ejecutar estrategias para evaluar sus acuíferos compartidos. A diferencia de las Disposiciones Modelo, esta guía recupera el concepto acuífero transfronterizo de la Resolución 63/124. Su aportación radica, entre otras cosas, en la formulación de un esquema integral para gestionar los acuíferos, a través de la aplicación de modelos conceptuales que incluyen únicamente el balance hidrológico y la determinación de la disponibilidad del agua subterránea en los acuíferos, así como la creación de bases de datos transfronterizas y geoespacializadas. Es de anotar que este tipo de metodología ha sido cuestionada en el ámbito internacional desde hace varias décadas¹⁸, sin embargo, se sigue impulsando su aplicación, creando

severas inconsistencias en la caracterización física del ciclo hidrológico en condiciones transfronterizas.

En suma, se aprecia en el conjunto de documentos analizados la divergencia en torno a los conceptos agua subterránea transfronteriza y acuífero transfronterizo, ambos con connotaciones distintas (Tabla 1), pues mientras que para la convención ONU de Nueva York y la Resolución 63/124 destaca la importancia del acuífero y su determinación transfronteriza, para UNECE el principal concepto a evaluar es el funcionamiento del agua subterránea, lo que implica identificar la distribución espacial de componentes como áreas de recarga-tránsito-descarga en las zonas fronterizas, el origen del agua y su tiempo de residencia en el acuífero (edad), entre otros. Resta preguntarse a fin de estimular el debate académico, ¿es el concepto acuífero transfronterizo la unidad de gestión más adecuada para definir el funcionamiento del agua subterránea transfronteriza?

La Resolución 63/124, que permanece aún en estatus de borrador, es un referente para que los estados interesados promuevan acuerdos de evaluación y gestión de los acuíferos transfronterizos. En el caso México-Estados Unidos, se han registrado avances significativos en la caracterización binacional de cuatro acuíferos transfronterizos, por medio del TAAP, aunque no ha sido posible todavía formalizar algún acuerdo general para su gestión conjunta por ambos países. No obstante, el resultado de estos trabajos revela la marcada influencia del concepto acuífero transfronterizo.

Tabla 1. Definiciones conceptuales de agua subterránea transfronteriza en el derecho internacional

Instrumento	Tipo	Fecha	Definición conceptual
Convenio sobre la protección y utilización de los cursos de agua transfronterizos y de los lagos internacionales (Convenio UNECE de Helsinki)	Vinculatorio	1992	El agua subterránea puede ser transfronteriza, siempre y cuando se verifique su movimiento y tal condición.
Convención sobre el derecho de los usos de agua internacionales para fines distintos a la navegación (Convención ONU de Nueva York)	Vinculatorio	1997	Los acuíferos transfronterizos son únicamente los no confinados.
Proyecto de resolución 63/124 El derecho a los acuíferos transfronterizos	Pendiente de aprobar	2009	Formación geológica permeable portadora de agua situada sobre una capa menos permeable, y el agua contenida en la zona saturada de la formación, la cual puede ser afín hidráulicamente con otros acuíferos, formando un sistema acuífero transfronterizo el cual, por su extensión geológica, puede tener diferentes partes situadas en distintos estados.
Disposiciones modelo para las aguas subterráneas transfronterizas (UNECE)	Disposición con efectos vinculantes	2014	Evaluar funcionamiento del agua subterránea y la determinación de su condición transfronteriza

Fuente: elaboración propia a partir de la revisión de los instrumentos principales del derecho internacional de los cursos compartidos.

¹⁶. UNECE, 2014.

¹⁷. UNESCO, 2015.

¹⁸. Bredehoeft et al., 1982.

La resolución 63/124. El derecho a los acuíferos transfronterizos y su influencia en la evaluación de los acuíferos transfronterizos México-Estados Unidos

A la fecha, México y Estados Unidos no se han adherido al Convenio UNECE de Helsinki o, en su caso, a la Convención ONU de Nueva York, para emplearlas como guía o directriz internacional en la gestión y manejo de sus aguas subterráneas transfronterizas. No obstante, ambos países celebraron en el siglo pasado dos tratados internacionales y vinculantes para la distribución política de tres cuencas transfronterizas (Río Bravo, Río Colorado y Río Tijuana), Convención para la equitativa distribución de las aguas del Río Grande y Tratado sobre distribución de aguas internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América (Tratado de Aguas de 1944); en estos documentos no se contempla aún la regulación de las aguas subterráneas transfronterizas. Así, los tratados y las instituciones creadas para la gestión de los ríos compartidos, es decir, la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA)¹⁹

han fungido, exprofeso, como los conductos diplomáticos para abordar las problemáticas que circundan la gestión del agua subterránea entre ambos países.

En los tratados binacionales, los conceptos aguas subterráneas transfronterizas y acuífero transfronterizo están ausentes. Este aspecto también se replica en el conjunto de leyes mexicanas del agua y en los marcos regulatorios domésticos de las entidades fronterizas del sur de los Estados Unidos (Arizona, California, Nuevo México y Texas). Cabe hacer notar que, al contrario de lo que sucede en el primer país, donde el agua subterránea es gestionada y controlada por el Poder Ejecutivo Federal, en los Estados Unidos esta es regulada por los gobiernos subnacionales, quienes la gestionan de acuerdo con diversas doctrinas relativas al manejo de derechos de agua que cada entidad ha adoptado para tal fin²⁰. De acuerdo con lo anterior, se observó inicialmente que en las propias disposiciones legales domésticas de ambos países existen discrepancias en la forma de concebir y conceptualizar al agua subterránea y a los acuíferos (Tabla 2). Esto se traduce en la aplicación de esquemas asimétricos de gestión del agua subterránea a lo largo de la frontera México-Estados Unidos.

Tabla 2. Definición legal de los conceptos agua subterránea y acuífero en los marcos regulatorios del agua de México y del sur de los Estados Unidos

Concepto	Estado/País	Definición legal
Acuífero	Arizona	Formación geológica que contiene suficientes materiales saturados para almacenar y transmitir agua en cantidades utilizables a un pozo. Fuente: <i>Arizona Revised Statutes</i> .
	California	Formación o estructura geológica que transmite agua en cantidades suficientes para suministrar pozos o manantiales bajo bombeo. Fuente: <i>California Water Code</i> .
	New México	Formación geológica que contiene suficiente material saturado para almacenar y transmitir agua en cantidades utilizables en un pozo. Fuente: <i>New Mexico Statutes Chapter 72, Water Law</i> .
	Texas	Formación geológica, grupo de formaciones o parte de una formación capaz de producir cantidades significativas de agua subterránea en pozos o manantiales. Fuente: <i>Texas Administrative Code</i> .
	México	Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso y aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo. Fuente: <i>Ley de Aguas Nacionales</i> .
Agua subterránea	Arizona	Este concepto no existe en la ley.
	California	Agua debajo de la superficie de la tierra dentro de la zona debajo de la capa freática en la que el suelo está completamente saturado de agua. Fuente: <i>California Sustainable Groundwater Act</i> .
	New México	Este concepto no existe en la ley.
	Texas	Agua que se filtra debajo de la superficie de la tierra. Fuente: <i>Texas Administrative Code</i> .
	México	Este concepto no existe en la ley.

Fuente: elaboración propia a partir de revisión de leyes relacionadas con el agua en la frontera México-Estados Unidos.

¹⁹. La CILA fue creada en el siglo XIX para resolver problemas asociados con la delimitación fronteriza. En 1927, se le agregaron atribuciones para gestionar las aguas transfronterizas. En México, la CILA depende de la Cancillería y en los Estados Unidos, del Departamento de Estado.

²⁰. Hatch-Kuri, 2017a. Sanchez & Eckstein, 2017.

En términos generales, el concepto acuífero está definido en todos los marcos jurídicos examinados, e incluso se encontró que existen otros conceptos semejantes que aluden al acuífero, como es el caso de depósito de agua subterránea (Ley de Aguas del Estado de Texas). Empero, la discrepancia o asimetría más acentuada radica en cómo cada país soberanamente concibe en términos jurídicos al acuífero. En Estados Unidos, como receptor o contenedor de agua subterránea en un tiempo indefinido, reservada para fines de aprovechamiento económico, soslayando así a los ecosistemas. En México, la definición destaca una incertidumbre para definir sus límites reales solo considerando los denominados convencionales (administrativos), aspecto que implica que estos pasan a ser un acto de conveniencia política para quien esté a cargo de establecerlos. En los Estados Unidos, por el contrario, su definición sugiere que deben existir evidencias científicas para determinar sus principales características (espesor, definición de límites laterales y horizontales). Esta visión encontrada, por una parte, la de los acuíferos administrativos mexicanos y, por otra, los acuíferos como formaciones geológicas, ha sido cartografiada en otros trabajos, quienes estimaron un número total de acuíferos transfronterizos México-Estados Unidos²¹. Su estudio revela que, a partir de las definiciones legales vigentes

de los acuíferos, existen 36 acuíferos mexicanos (administrativos) y otros 36 (de naturaleza geológica) en los Estados Unidos, pero que el conjunto de información analizada sugiere que únicamente en 16 existe la información razonable para concluir que su naturaleza es transfronteriza.

Estudios más recientes²² caracterizaron la litología, estratigrafía y algunos elementos de la conductividad hidráulica en los materiales geológicos fronterizos México-Texas, para precisar su naturaleza transfronteriza. El estudio concluye la existencia de 33 acuíferos transfronterizos localizados desde la conurbación binacional de Ciudad Juárez/El Paso, hasta el Golfo de México. Sin duda, este estudio debe ser replicado en el resto de la frontera México-Estados Unidos; sus resultados ayudarían a superar la actual limitación oficial, que únicamente reconoce 11 acuíferos compartidos por ambos países (Figura 3). No obstante, ambos estudios pueden complementarse con la determinación sistémica de los flujos del agua subterránea transfronteriza y su funcionamiento.

A la par de estas contribuciones, en 2016 en Estados Unidos se concluyó el TAAP, que evaluó cuatro acuíferos compartidos con México: Río Santa Cruz, Río San Pedro (Sonora-Arizona), Bolsón del Hueco y Bolsón de la Mesilla/Conejos-Médanos (Chihuahua-Texas y Nuevo México). El TAAP creado en 2006 bajo la Ley Federal United

Figura 3. Acuíferos transfronterizos reconocidos oficialmente por México y los Estados Unidos, según CILA (2020)



Fuente: recuperado del sitio web de la CILA y adaptado para fines explicativos (2020).

²¹. Sanchez et al., 2016.

²². Sanchez et al., 2018.

States-Mexico Transboundary aquifer assessment Act, consideró estratégicos esos cuatro acuíferos por constituir elementos centrales para la integración económica regional fronteriza²³. Este programa tuvo por objetivo, entre otros, desarrollar información binacional y compartir datos de la calidad y cantidad del agua subterránea, evaluar la asequibilidad y movimiento del agua subterránea transfronteriza y su interacción con agua superficial, aplicar modelos y la información necesaria para proteger la calidad del agua y mejorar las fuentes de abastecimiento y proveer de información útil a tomadores de decisiones. Sus resultados se han publicado hasta el momento en varios documentos, entre ellos, el San Pedro River Aquifer Binational Report (2016).

Dentro de trabajos recientes²⁴, se efectuó un análisis de los resultados de la evaluación binacional al Acuífero Transfronterizo Río San Pedro (Sonora-Arizona). Se concluyó que, si bien se reconoce la cooperación científica que dio lugar a datos como los indicadores hidrogeológicos, geológicos, meteorológicos, climatológicos y edáficos del acuífero, poco se logró respecto a la caracterización del agua subterránea entendida como sistema y su funcionamiento relacionado con otros componentes del ambiente. A pesar de ello, el TAAP ha sentado un precedente en materia de cooperación científica y diplomática en agua subterránea transfronteriza, tema que se trató con marcado énfasis en abril de 2019 en la Cumbre Binacional Sobre Aguas Subterráneas Transfronterizas México-Estados Unidos, en El Paso, Texas, foro convocado por la CILA.

Otros autores²⁵ señalan que evaluar el agua subterránea transfronteriza en ambos países y de forma conjunta es un problema mayor, pues se deben resolver las diferentes visiones conceptuales y metodológicas que privan en la evaluación de esta agua. En este sentido, en México, la Ley de Aguas Nacionales, carece de las definiciones agua subterránea y agua subterránea transfronteriza y la Norma Oficial Mexicana 011 de la Comisión Nacional del Agua (NOM-011-CONAGUA), es un instrumento desactualizado para evaluar el agua subterránea, básicamente, porque constituye una extrema simplificación de procesos complejos como la determinación del volumen del agua que se infiltra en el suelo y que llega a los acuíferos (geológicos o administrativos) conocida universalmente como recarga²⁶. La

información que emplea la NOM-011-CONAGUA, debe partir de una realidad hidrogeológica básica a partir de datos de campo, pero en su lugar, estos son evaluados de forma incierta y subjetiva, pues la Autoridad Hídrica Nacional (Comisión Nacional del Agua) carece de la infraestructura (física y humana) necesaria para determinarlos (no estimarlos) con un apoyo sistémico y precisión requerida.

El conjunto de los trabajos y marcos legales revisados, sugieren la influencia del concepto acuífero transfronterizo de la Resolución 63/124, pues ambos gobiernos y el sector académico se han enfocado en el estudio de sus características con un marcado énfasis de análisis estático del agua situada en los acuíferos transfronterizos México-Estados Unidos, estando aún pendiente la determinación del funcionamiento sistémico del agua subterránea transfronteriza, aspecto fundamental para codificarlo en las leyes domésticas o internacionales como cauces transfronterizos y, en consecuencia, establecer esquemas de gestión que incluyan sociedad y ecosistemas (teóricamente el proceso de hibridación del agua) conjuntos para su conservación ambiental. Algunos especialistas afirman que la noción de acuíferos –definidos por sus fronteras geológicas– está desapareciendo paulatinamente y será reemplazada por la noción de sistemas de flujo de agua subterránea –multiescala–, los cuales se convertirán en las unidades de estudio²⁷. Esto sugiere que los futuros trabajos de evaluación de acuíferos transfronterizos no pueden soslayar más la definición del funcionamiento de los Sistemas Gravitacionales de Flujo de Agua Subterránea (SGFAS), trabajos que ya se hacen en México, Canadá-Estados Unidos²⁸ y otras partes del mundo, como Asia²⁹ o Europa³⁰.

Hasta este punto, se ha pormenorizado el debate científico protagonizado por las ciencias experimentales en torno a la conceptualización del agua subterránea (A_1), a fin de incorporar el reconocimiento de su recorrido dentro del Ciclo Hidrológico (A). Por lo tanto, considerando la definición de las fases científica y técnica del ciclo hidrosocial, (f), se verifica que la búsqueda de un consenso científico entre pares especializados en el tema del agua subterránea es un acto que implicaría entender los procesos de hibridación del agua como una construcción discursiva que se trans-

²³ Hatch-Kuri, 2017b.

²⁴ Hatch-Kuri, Carrillo-Rivera & Huizar Álvarez, 2019.

²⁵ Callegary et al., 2018.

²⁶ Carrillo-Rivera et al., 2016.

²⁷ Rivera, 2019.

²⁸ Pétré y Rivera, 2015.

²⁹ Han, He & Niu, 2010.

³⁰ IGRAC, 2018.

forma, más tarde, en arreglos institucionales legales para controlar y manejar el agua desde las decisiones soberanas que corresponden a cada país en materia de cauces transfronterizos. En otras palabras, este proceso refleja aspectos propios de las relaciones o funciones hidrosociales, $f(A_p)$, como actos de poder que están sujetos previamente al consenso de los grupos científicos y especializados del agua; dicho de otro modo, este debate ilustra quién y de qué manera decide la definición del agua subterránea transfronteriza.

Hacia un referente conceptual, científico y legal común para el agua subterránea transfronteriza en México

Considerando los siete pilares de la cooperación transfronteriza planteados en la Resolución 64/692 Agua, Paz y Seguridad: Cooperación en las aguas transfronterizas de 2010, así como los resultados de la Consulta de 2012, Groundwater governance. El Global Framework for Action³¹, que llama a los estados a que regulen el agua subterránea en sus leyes hídras a fin de proteger y mejorar su gestión frente a los retos que implica el cambio climático y, finalmente, en plena conciencia de que el TAAP fue producto de una ley federal estadounidense para evaluar cuatro acuíferos transfronterizos con México, se redactó y publicó en México el documento intitulado Ley del agua subterránea: Una propuesta³², que tiene por objetivo la protección, preservación y control de la extracción del agua subterránea, a partir del funcionamiento sistémico de flujos de diferente jerarquía. De un total de 98 artículos y 11 capítulos, en este sentido, es de interés destacar el Capítulo VII “De los Acuíferos Transfronterizos”, por contener un marco regulatorio para las aguas subterráneas transfronterizas fundamentado en los principios de soberanía, integridad territorial y desarrollo sustentable³³.

Esta propuesta es el resultado de la integración, expofeso, de especialistas en agua subterránea (hidrogeología, geografía, derecho ambiental y ciencia política), quienes, en la coyuntura actual de la pendiente expedición de la Ley General de Aguas, se sumaron a los esfuerzos de la sociedad organizada para modernizar el marco hídrico regulatorio. Incluso, para llamar la

atención al definitivo olvido del agua subterránea en la regulación mexicana. En esa tesitura, tres actividades académicas antecedieron la formulación del documento. Por una parte, se celebraron dos coloquios sobre El Agua Subterránea en México, el primero en 2013, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y, el segundo, en 2015, en el Senado de la República con apoyo de la Comisión Especial de Cambio Climático³⁴, mientras que en 2017 se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones sobre América del Norte, Universidad Nacional Autónoma de México, el Foro Internacional “Las asimetrías en la gestión y la regulación del agua subterránea en América del Norte: Hacia un esquema integral en México”³⁵. En el contexto de este último, se coordinó el Taller Internacional Regional strategies for the management of the transboundary aquifers, impartido por especialistas de Norteamérica.

En trabajos previos³⁶, se ha advertido que esta propuesta académica de ley se entregó a diversos actores involucrados (sector público, privado, académico, asociaciones civiles y organizaciones no gubernamentales). A cambio, se solicitó un dictamen con la finalidad de reformular y entregar, en su momento, una versión enriquecida meritoria de un trabajo de dictamen en el seno del Poder Legislativo Federal. Producto de la recepción de más de diez dictámenes se ha concluido que para la efectiva gestión de las aguas subterráneas transfronterizas en México, se debe poseer claridad sobre las definiciones conceptuales fundamentales acordes con los estándares científicos más altos con la finalidad de hacer frente a las asimetrías científicas e institucionales entre México y sus países limítrofes. Estos conceptos, posteriormente, deberán armonizarse con el contenido o actualización de los Tratados Internacionales que haya lugar, quedando de la siguiente manera:

- Agua subterránea: se refiere al agua que ocupa el espacio poroso o fracturado de los sedimentos y rocas en el subsuelo, producto de la infiltración del agua de lluvia (que depende de las condiciones del clima y vegetación en la superficie), a través del suelo; considerando también el agua que asciende a la superficie alimentando lagos, arroyos, ríos, ecosistemas, manantiales, y humedales.

³¹. Da Franca, 2012.

³². Carmona Lara et al., 2017.

³³. Cabe mencionar que no existe antecedente semejante a este documento en América Latina.

³⁴. Garza, Carrillo-Rivera y Huizar-Álvarez, 2018.

³⁵. Hatch-Kuri, 2019b.

³⁶. Hatch-Kuri, 2018.

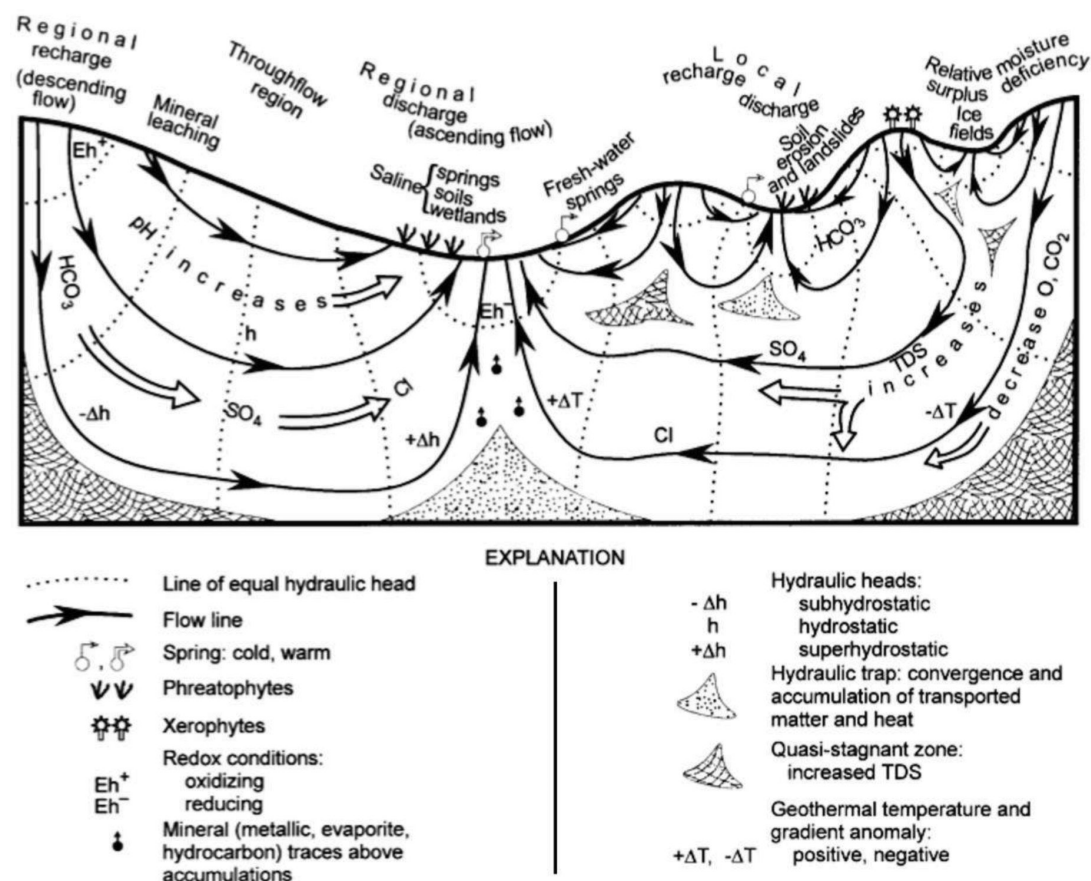
- Acuífero: es el medio geológico en el que se mueve el agua subterránea y cuyas propiedades (porosidad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica-permeabilidad-) favorecen el volumen almacenado y el movimiento del agua subterránea.
- Patrones de flujo de agua subterránea: el flujo de agua subterránea es generado por las diferencias de elevación del nivel freático, mientras que los patrones de flujo se desarrollan en sistemas locales, intermedios y regionales, modificados por las heterogeneidades de la permeabilidad de las rocas en el subsuelo. La topografía tiene un efecto ubicuo en estos patrones, provocando su movimiento a mayores profundidades. Los sistemas locales tienen tiempos de residencia de meses a unos cuantos años; los intermedios de cientos de años, y los regionales hasta de miles de años. Su extensión deberá ser delimitada por la convergencia de al menos dos sistemas regionales.
- Interacciones del agua subterránea con el acuífero y los patrones de flujo son de tipo: i) físico, controladas por la Ley de Darcy; ii) químico, calidad del agua

debido a la disolución de los minerales de las rocas del subsuelo; iii) isotópico, debido a la elevación de las áreas de recarga y su edad o tiempo de residencia en el subsuelo; iv) biológico, por su interacción con los ecosistemas, las cuales son manifiestas en forma contrastante en las áreas de descarga, tránsito y recarga de cada patrón de flujo.

Con los anteriores conceptos, se persigue la posesión de una claridad conceptual y metodológica que, transferida al marco legal, profundice en la definición de los sistemas de flujo del agua subterránea transfronteriza y que están precisamente ilustrados en el esquema de la Figuras 2 (flechas que simulan el flujo del agua dentro del acuífero) y 4 (los sistemas de flujo Tóthianos).

Bajo el paradigma conceptual de los SGAFS, además su beneficio se expresa en la claridad de la ubicación espacial de componentes clave, tales como las áreas de recarga, tránsito y descarga del agua subterránea en condiciones transfronterizas -visión integrada del Ciclo Hidrológico-, situación que obliga a repensar has-

Figura 4. El acuífero y los sistemas de flujo de agua subterránea según Tóth (1999)



Fuente: imagen adaptada para fines explicativos de Tóth, 1999.

ta dónde es conveniente continuar usando el concepto acuífero transfronterizo, como la unidad de gestión para estas aguas compartidas³⁷. En suma, nuestro planteamiento persigue el fortalecimiento y la plural participación en tres procesos paralelos situados en distintas escalas de acción, todos con significativas implicaciones científico-políticas para México en términos de las prevalecientes asimetrías que imperan en la gestión de sus cursos de agua transfronterizos:

1. Desde 2015, en México se ha desarrollado un amplio debate público relacionado con la pendiente expedición de la Ley General de Aguas, reglamentaria de los artículos constitucionales 4º (Derecho Humano al Agua y Saneamiento) y 27º (aguas nacionales). A la fecha, las iniciativas presentadas en las comisiones legislativas de agua del H. Congreso de la Unión, se distinguen por ser omisas con la regulación del agua subterránea entendida como un cauce transfronterizo.
2. Así como el TAAP en 2006 estableció en Estados Unidos un precedente científico-político para evaluar cuatro acuíferos compartidos con México, estimulando la producción de evidencias científicas como base para incidir en la futura formulación de un tratado general que regule las aguas subterráneas transfronterizas; en México, es impostergable impulsar iniciativas semejantes que coadyuven en el futuro proceso de negociaciones internacionales sobre este tema, con estricto apego a los principios de soberanía, integridad territorial y desarrollo sostenible.
3. Considerando la activa participación de los integrantes de la comisión de Acuíferos Transfronterizos de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, así como de la Comisión Internacional de Derecho de Aguas Internacionales de Naciones Unidas, quienes han influido marcadamente en el proyecto de resolución 63/124, es necesario actualizar el contenido de dicho documento en vías de su posible aprobación futura en el seno de la Asamblea de las Naciones Unidas.

No existe duda alguna que llegado el momento, México y sus países vecinos requerirán formar tratados internacionales mediados por prácticas diplomáticas efectivas que desemboquen en la formulación de acuerdos y esquemas de cooperación en materia de aguas

subterráneas transfronterizas con conceptos, metodologías y resultados homologados, con unidades de manejo de aguas subterráneas compartidas definidas y programas hídricos específicos para su eventual gestión bajo una visión integral como la que recupera el ciclo hidrosocial (A_p).

Conclusiones

Desde el enfoque teórico e interdisciplinario del ciclo hidrosocial (A_p) en el que se planteó una visión de totalidad, los resultados de esta investigación demuestran que la definición de los conceptos que refieren al agua subterránea (A_p), sobre todo considerando su condición de cauce transfronterizo o compartido, aún son objeto de controversia internacional debido a la escasa homologación, entendimiento, y aplicación de conceptos científicos, actividad propia de las fases científica y técnica de dicho ciclo. Este debate ilustra además el proceso de hibridación del agua, porque internaliza relaciones de poder que involucran la actividad científica (grupos altamente especializados) y las decisiones que toman los Estados a partir de las evidencias que ofrezcan los primeros en temas como el aquí tratado, en otras palabras, se pormenorizó la relación ciencia-poder en el caso de las asimetrías que imperan en la incipiente evaluación de los acuíferos transfronterizos México-Estados Unidos.

Los SGFAS y sus componentes –agua subterránea, referente geológico, patrón de sistemas de flujo y su interacción– son la base del concepto científico y legal de agua subterránea transfronteriza. En esta contribución se evidenció que el concepto acuífero transfronterizo planteado en el proyecto de resolución 63/124 ha influido en la evaluación científica de los acuíferos transfronterizos México-Estados Unidos, aportando evidencias en la definición de las unidades hidrogeológicas compartidas, pero no así sobre el funcionamiento sistémico del agua subterránea, situación que se traduce en la todavía escasa determinación de información que aporte evidencias sobre en qué estado se encuentra las áreas de recarga y de descarga, entre otros, información clave para establecer programas de cooperación conjunta para su protección y conservación ambiental. Por esa razón, es deseable producir evidencias científicas respecto al funcionamiento dinámico del agua subterránea más allá de la definición estática de acuífero, a fin de armonizar conceptos científicos y definiciones legales en las regulaciones do-

³⁷. Rivera, 2019.

místicas del agua en ambos países y poseer marcos de cooperación simétricos de estandarización científica homologada. No se puede olvidar que el concepto que se extrae y aprovecha al final es el agua subterránea y no el acuífero *per se*.

La literatura especializada sugiere que el trabajo de evaluación de los acuíferos transfronterizos, en un futuro, deberá basarse en evidencias científicas que ayuden a resolver la incógnita que refiere qué país extrae o ha extraído más agua subterránea para poder aclarar cuál de los estados involucrados deberá asumir mayores responsabilidades en el deterioro, no solo de la cantidad, sino de la calidad del agua subterránea transfronteriza. Mientras tanto, un primer avance fundamental es la incorporación de estos conceptos en la actual legislación mexicana a fin de tener certeza en el ejercicio de la soberanía y del manejo del agua subterránea en condiciones transfronterizas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bredehoeft, J. D., Papadopoulos, S. S. & Cooper Jr., H. H. 1982: "Groundwater: the water budget myth". In *Scientific basis of water resource management*, Studies in Geophysics, Washington, DC (USA), National Academy Press, 51-57.
- Callegary, J. B., Megdal, S. B., Tapia Villaseñor, E. M., Petersen-Perlman, J.D., Minjárez Sosa, I., Monreal, R., Gray, F., Grijalva Noriega, F. 2018: "Findings and lessons learned from the assessment of the Mexico-United States transboundary San Pedro and Santa Cruz aquifers: the utility of social science in applied hydrologic research". *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 20, 60-73. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.08.002>
- Callegary, J. B., Minjárez Sosa, I., Tapia Villaseñor, E. M., Dos Santos, P., Monreal Saavedra, R. Grijalva Noriega, F. J., Huth, A. K., Gray, F., Scott, C. A., Megdal, S. B., Oroz Ramos, L. A., Rangel Medina, M., & Leenhouts, J. M. 2016: *San Pedro River Aquifer Binational Report*. International Boundary and Water Commission, Universidad de Sonora, CONAGUA, University of Arizona, U.S. Geological Service.
- Carmona Lara, M. C., Carrillo-Rivera, J. J., Hatch-Kuri, G., Huizar-Álvarez, R. y Ortega-Guerrero, M. A. 2017: *Ley del agua subterránea: una propuesta*. Ciudad de México, (México), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carrillo-Rivera, J. J., Peñuela-Arévalo, L., Huizar-Álvarez, R., Cardona Benavidez, A., Ortega-Guerrero, M.A, Vallejo Barba, J. y Hatch-Kuri, G. 2016: "Conflictos por el agua subterránea", en Moncada Maya, J. O. y López López, A. (Coords.), *Geografía de México: Una Reflexión Espacial Contemporánea*, Tomo 1, Ciudad de México (México), Universidad Nacional Autónoma de México, 151-166.
- Castro, J. E. 2007: "El estudio interdisciplinario de los conflictos por el agua en el medio urbano: una contribución desde la sociología". *Cuadernos del CENDES*, 24 (66), 21-46.
- Da Franca, N. 2012: "Informe final". *Consulta Regional América Latina y el Caribe. 18 al 20 de abril de 2012*. Montevideo (Uruguay), FAO, GEF, AIH, UNESCO-PHI, BM.
- Garza, S., Carrillo-Rivera, J. J. y Huizar-Álvarez, R. 2018: *Coloquios sobre el Agua Subterránea en México*. Ciudad de México (México), Senado de la República, LXIII legislatura.
- Han, Z., He, J. & Niu, I. 2010: "Transboundary aquifers in Great Mekong river basin", in *Challenges and New Directions: Proceedings of Isarm 2010 International Conference Transboundary Aquifers*. Paris (France), UNESCO-IHP, 55-58.
- Hatch-Kuri, G. 2017a: *Paso del Norte: La competencia por las aguas transfronterizas*. Ciudad Juárez (México), El Colegio de Chihuahua-Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. <https://doi.org/10.17561/at.13.4121>
- Hatch-Kuri, G. 2017b: "Agua subterránea y soberanía interdependiente: el caso de los sistemas acuíferos transfronterizos en la región binacional de Paso del Norte". *Norteamérica*, 12 (2), 113-145.
- Hatch-Kuri, G. 2018: "A joint management of transboundary aquifers: from asymmetries to environmental protection". *Frontera Norte*, 30 (59), 129-154. <https://doi.org/10.17428/rfn.v30i59.1130>
- Hatch-Kuri, G. 2019a: "Cumbre Binacional sobre Aguas Subterráneas Transfronterizas México-Estados Unidos. Tech20 Center, El Paso, Texas, 10 y 11 de abril". *Investigaciones Geográficas*, 99, 1-3. <https://doi.org/10.14350/rig.59965>
- Hatch-Kuri, G. 2019b: "Toward comprehensive groundwater management in Mexico. Dossier". *Voices of Mexico*, 108, 57-58.
- Hatch-Kuri, G., Carrillo-Rivera, J. J. & Huizar Álvarez, R. 2019: "Evaluación crítica del acuífero transfronterizo Río San Pedro". *Regions and Cohesion*, 9 (1), 61-85. <https://doi.org/10.3167/reco.2019.090106>
- International Groundwater Resources Assessment Center (IGRAC), 2018: *Population and areal statistics for 199 Transboundary Aquifers*. Delft (Holland), International Groundwater Resources Assessment Center.
- Linton, J. & Budds, J. 2014: "The hydrosocial cycle: defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water". *Geoforum*, 57, 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.008>
- Moreira, R. (2010). *Para onde vai o pensamento geográfico?: por uma epistemologia crítica*. São Paulo (Brasil), Editora Contexto.
- Pétre, M. A. & Rivera, A. 2015: *Synthesis of knowledge of the milk river transboundary aquifer (Alberta, Canada-Montana, U.S.A.)*. Montreal (Canadá), Natural Resources Canada. <https://doi.org/10.4095/295754>
- Ribeiro, W. C. 2010: "Geografía política e gestão internacional dos recursos naturais". *Estudos avançados*, 24 (68), 69-80. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100008>

- Rivera, A.** 2019: "What is the future of groundwater?". *Groundwater*, 57 (5), 661-662. <https://doi.org/10.1111/gwat.12902>
- Rivera, A. & Candela, L.** 2018: "Fifteen-year experiences of the internationally shared aquifer resources management initiative (ISARM) of UNESCO at the global scale". *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 20, 5-14. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.12.003>
- Russell, H., F. & Priebe, E. H.** 2017: *Regional-scale groundwater geoscience in Southern Ontario: Ontario Geological Survey, Ontario (Canada), Geological Survey of Canada and Conservation Ontario Open House*. <https://doi.org/10.4095/299750>
- Sanchez, R. & Eckstein, G.** 2017: "Aquifers shared between Mexico and the United States: management perspectives and their transboundary nature". *Groundwater*, 55 (4), 495-505. <https://doi.org/10.1111/gwat.12533>
- Sanchez, R., Lopez, V. & Eckstein, G.** 2016: "Identifying and characterizing transboundary aquifers along the Mexico-US border: An initial assessment". *Journal of Hydrology*, 535, 101-119. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.070>
- Sanchez, R., Rodriguez, L. & Tortajada, C.** 2018: "The transboundary approach and prioritization of transboundary aquifers between Mexico and Texas". *AMBIO A Journal of the Human Environment*, 47 (7), 760-770. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1015-1>
- Smith, N.** 2010: *Uneven development: Nature, capital, and the production of space*. Athens (Georgia), University of Georgia Press.
- Swyngedouw, E.** 2009: "The political economy and political ecology of the hydro-social cycle". *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 142 (1), 56-60. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2009.00054.x>
- Tóth, J.** 1999: "Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations". *Hydrogeology Journal*, 7 (1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s100400050176>
- United Nations General Assembly (UNGA). 1997: *Resolution 51/229. Convention on The Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses*. United Nations. https://treaties.un.org/doc/source/docs/a_res_51_229-eng.pdf Consulta realizada el 20 de enero de 2020.
- United Nations General Assembly (UNGA). 2009: *Resolution 63/124. The Law of Transboundary Aquifers*. United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/643188?ln=es> Consulta realizada el 20 de enero de 2020.
- United Nations General Assembly (UNGA). 2010: *Resolution 64/292. Water, Peace And Security: Transboundary Water Cooperation*. United Nations. <https://undocs.org/pdf?symbol=en/a/64/692> Consulta realizada el 20 de enero 2020
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 1992: *Convention on The Protection and Use of Transboundary Watercourses And International Lakes*. <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf> Consulta realizada el 20 de enero de 2020.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 2014: *Model Provisions on Transboundary Groundwaters*. Geneva (Switzerland), United Nations Economic Commission for Europe. <https://unece.org/environment-policy/publications/model-provisions-transboundary-groundwaters> Consulta realizada el 20 de enero de 2020.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2015: *Estrategia Regional para la Evaluación y Gestión de los Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas*. Montevideo (Uruguay), UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235394> Consulta realizada el 20 de enero de 2020.
- WWAP (World Water Assessment Programme). 2017: *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO.