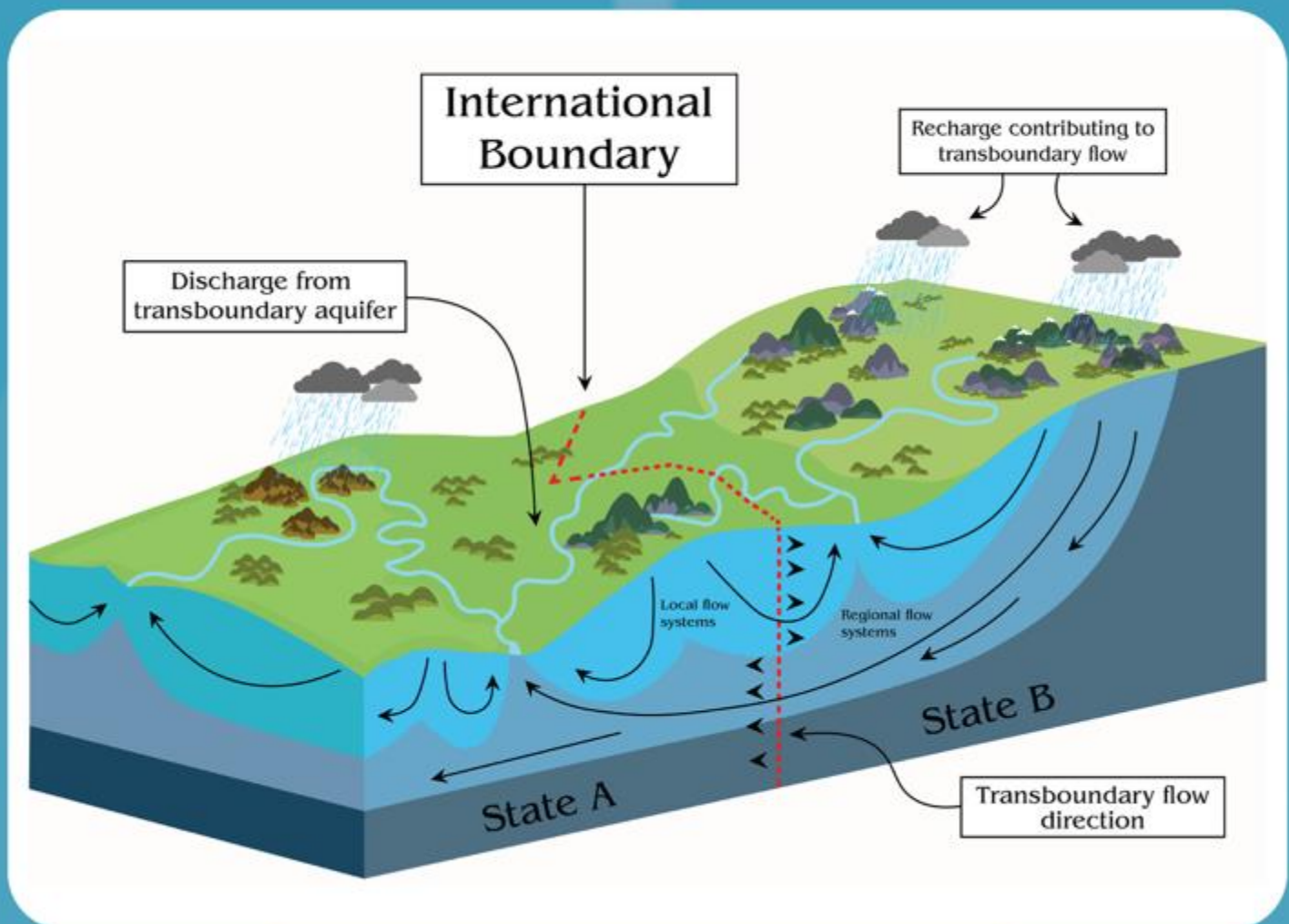




Impactos Transfronterizos Asociados a Acuíferos Compartidos:

Caracterizando la Responsabilidad
Internacional y La Responsabilidad Por los Daños

Gabriel Eckstein y Yoram Eckstein

Traducción por: Dayana Carolina Chalá Díaz

*Impactos Transfronterizos
Asociados a Acuíferos
Compartidos:
Caracterizando la
Responsabilidad
Internacional y La
Responsabilidad Por los
Daños*

The Groundwater Project

Gabriel Eckstein

*Profesor de Derecho
Director del Programa de Derecho en Sistemas de Recursos Naturales, Energía y
Ambiente
Universidad de Texas A&M Facultad de Derecho
Fort Worth, Texas, USA*

Yoram Eckstein

*Profesor de Hidrogeología
Kent State University
Kent, Ohio, USA*

*Traducción por:
Dayana Carolina Chalá Díaz*

***Impactos transfronterizos
relacionados con acuíferos
compartidos:
Caracterizando la responsabilidad
internacional y
la responsabilidad por los daños***

*The Groundwater Project
Guelph, Ontario, Canada
Version 3, Julio 2024*

El Proyecto de Agua Subterránea depende de financiación privada para la producción de libros y el manejo del Proyecto.

Por favor considere hacer una donación al Groundwater Project, para que nuestros libros sigan estando disponibles gratuitamente.

<https://gw-project.org/donate/>

Gracias.

Todos los derechos reservados. Esta publicación está protegida por copyright. Ninguna parte de este libro puede reproducirse de ninguna forma ni por ningún medio sin el permiso por escrito de los autores (para solicitar permiso, comuníquese con: permissions@gw-project.org). La distribución y reproducción comercial están estrictamente prohibidas.

Los trabajos de Groundwater Project (GW Project) están protegidos por copyright y se pueden descargar de forma gratuita desde gw-project.org. Cualquiera puede usar y compartir enlaces de gw-project.org para descargar el trabajo de GW Project. No está permitido que los documentos de GW Project estén disponibles en otros sitios web ni enviar copias de los documentos directamente a otros. Por favor, honre esta fuente de conocimiento gratuito que le beneficia a usted y a todos aquellos que quieran aprender sobre las aguas subterráneas.

Copyright © 2024 Gabriel Eckstein and Yoram Eckstein (Los Autores)

Publicado por The Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada, 2024.

Cross-Border Impacts Related to Transboundary Aquifers: Characterizing Legal Responsibility and Liability / Gabriel Eckstein, Yoram Eckstein – Guelph, Ontario, Canada, 2024.

Impactos transfronterizos relacionados con acuíferos compartidos:
Caracterizando la responsabilidad internacional y la responsabilidad por los daños
118 páginas

ISBN: 978-1-77470-146-1

DOI : <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-065-5>.

Considere suscribirse a la lista de correo de The Groundwater Project y manténgase informado sobre los lanzamientos de libros nuevos, eventos y formas de participar en The Groundwater Project. Cuando se registra en nuestra lista de correo electrónico, nos ayuda a construir una comunidad mundial de aguas subterráneas. [Regístrate](#).

APA (7th ed.) Citación:

Eckstein, G., & Eckstein, Y. (2024). *Cross-border impacts related to transboundary aquifers: Characterizing legal responsibility and liability*. [Impactos transfronterizos relacionados con acuíferos compartidos: Caracterizando la responsabilidad internacional y la responsabilidad por los daños]. The Groundwater Project. <https://doi.org/10.21083/978-1-77470-065-5>.



Editores de Dominio: Eileen Poeter y John Cherry.

Comisión: John Cherry, Shafick Adams, Richard Jackson, Ineke Kalwij, Renée Martin-Nagle, Everton de Oliveira, Marco Petitta y Eileen Poeter.

Imagen de portada: Original de The Groundwater Project, 2022.

Traducido por: Dayana Carolina Chalcá Díaz

Dedicatoria

Este libro es la última colaboración con mi padre, Yoram Eckstein (1938-2020). Se lo dedico al hombre que me inspiró de tantas maneras, y quien pasó gran parte de su vida enfocado en la investigación, la educación y a compartir conocimientos en hidrogeología.

Gabriel Eckstein

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
PRÓLOGO DE THE GROUNDWATER PROJECT	VII
PRÓLOGO	IX
PREFACIO	XI
AGRADECIMIENTOS	XII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 EL DILEMA DE MEZCLAR LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CON EL DERECHO	12
3 LA LEY QUE RIGE A LOS ACUÍFEROS QUE CRUZAN FRONTERAS POLÍTICAS	15
4 CARACTERIZACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD Y LA REPARACIÓN POR IMPACTOS TRANSFRONTERIZOS	18
4.1 MODELO A: ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO NO CONFINADO VINCULADO HIDROLÓGICAMENTE A UN RÍO TRANSFRONTERIZO CONTIGUO	18
4.2 MODELO B: ACUÍFERO LIBRE TRANSFRONTERIZO HIDROLÓGICAMENTE VINCULADO A UN RÍO SUCESIVO TRANSFRONTERIZO.....	42
4.3 MODELO C: ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO LIBRE HIDROLÓGICAMENTE VINCULADO A UN RÍO DOMÉSTICO.....	52
4.4 MODELO D: ACUÍFERO DOMÉSTICO LIBRE VINCULADO HIDROLÓGICAMENTE A UN RÍO TRANSFRONTERIZO.....	63
4.5 MODELO E: ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO CONFINADO CON ZONA DE RECARGA EN UNA SOLA JURISDICCIÓN RIBEREÑA.....	71
4.6 MODELO F: ACUÍFERO TRANSFRONTERIZO NO RECARGABLE	79
5 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA DETERMINAR LA RESPONSABILIDAD Y LA COMPENSACIÓN ..	91
6 CONCLUSIÓN	92
7 EJERCICIOS.....	93
EJERCICIO 1 – EL ACUÍFERO LIBRE DE LEO	93
EJERCICIO 2 – EL RÍO ZINI Y EL ACUÍFERO YARROW	96
8 REFERENCIAS	98
9 SOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS.....	104
SOLUCIÓN AL EJERCICIO 1	105
1. El campo de pozos de Dawon a lo largo de su frontera occidental	105
2. El plan de Byakko para desarrollar un campo de pozos al norte de su región de oasis.....	107
3. Prácticas agrícolas de Maahes.....	108
SOLUCIÓN AL EJERCICIO 2	110
1. La emergente industria minera de Cadland.....	110
2. Yacimientos de Arcadia y Brosnia	113
10 SOBRE LOS AUTORES.....	116
11 SOBRE LA TRADUCTORA.....	117

Prólogo de The Groundwater Project

La Cumbre del Agua de las Naciones Unidas (ONU) sobre las aguas subterráneas, celebrada del 7 al 8 de diciembre de 2022 en la sede de la UNESCO en París, Francia, concluyó con un llamado a los gobiernos y otras partes interesadas a intensificar sus esfuerzos para gestionar mejor las aguas subterráneas. La intención del llamado a la acción era informar las discusiones relevantes en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua 2023 celebrada del 22 al 24 de marzo de 2023 en la sede de las Naciones Unidas en la ciudad de Nueva York. Una de las acciones requeridas es *fortalecer la capacidad humana e institucional*, para lo cual la educación sobre aguas subterráneas es fundamental.

El tema del Día Mundial del Agua 2024 es Agua para la paz, que se centra en el papel fundamental que desempeña el agua en la estabilidad y prosperidad del mundo. El sitio web de ONU Agua afirma que *más de tres mil millones de personas en todo el mundo dependen del agua que cruza las fronteras nacionales*. Hay 468 acuíferos transfronterizos; sin embargo, la mayoría de los países no cuentan con un acuerdo de cooperación intergubernamental para compartir y gestionar el acuífero. Además, si bien el agua subterránea desempeña un papel clave en la estabilidad y la prosperidad globales, también constituye el 99 por ciento de toda el agua dulce líquida; en consecuencia, el agua subterránea está en el centro de la crisis del agua dulce. *El agua subterránea es un recurso invaluable*.

El Proyecto de Agua Subterránea (Proyecto GW), una organización benéfica canadiense registrada fundada en 2018, está comprometida con el avance de la educación sobre el agua subterránea como un medio para acelerar las acciones relacionadas con nuestros recursos esenciales de agua subterránea. Estamos comprometidos a hacer que las *aguas subterráneas sean comprensibles* y, así, *permitir la construcción de la capacidad humana para el desarrollo sostenible y la gestión de las aguas subterráneas*. Con ese fin, el Proyecto GW crea y publica libros de alta calidad sobre *todo lo relacionado con el agua subterránea*, para todos los que quieran aprender sobre el agua subterránea. Nuestros libros son únicos. Sintetizan conocimientos, son rigurosamente revisados por pares y traducidos a muchos idiomas, y son gratuitos. Un principio importante de los libros del Proyecto GW es un fuerte énfasis en la visualización con ilustraciones claras que estimulan el pensamiento espacial y crítico. El Proyecto GW comenzó a publicar libros en agosto de 2020, y para finales de 2023 logró publicar 44 libros originales y 58 traducciones. Los libros se pueden descargar en gw-project.org⁷.

El Proyecto GW representa un nuevo tipo de esfuerzo educativo global hecho posible gracias a las contribuciones de un grupo internacional dedicado de profesionales voluntarios de una amplia gama de disciplinas. Académicos, profesionales y jubilados contribuyen escribiendo y/o revisando libros dirigidos a diversos niveles de lectores, incluidos niños, adolescentes, estudiantes de pregrado y posgrado, profesionales en el

campo de las aguas subterráneas y el público en general. Participan más de 1.000 voluntarios de 70 países y seis continentes, y la participación continúa creciendo. De vez en cuando se publican ediciones revisadas de los libros. Además, se invita a los lectores a proponer revisiones.

Agradecemos a nuestros patrocinadores por su continuo apoyo financiero. Por favor considere hacer una donación al Proyecto GW para que podamos continuar publicando libros de forma gratuita.

El Comité Directivo de GW-Project, Enero 2024

Prólogo

Sería razonable esperar que la competencia entre los usuarios del agua se intensifique, especialmente cuando los flujos de agua subterránea cruzan fronteras políticas, pero resulta que la norma es la cooperación más que la disputa. De hecho, algunos acuerdos transfronterizos han permanecido vigentes durante décadas, incluso en tiempos de guerra. Sin embargo, la calidad y el suministro del agua siguen presentando desafíos. A medida que la atención se centra más en el desarrollo, la protección, el uso y la conservación, las Naciones Unidas han determinado que se necesitan medidas más estrictas para garantizar que los acuerdos sobre recursos de aguas subterráneas sean ejecutables e incluyan disposiciones de resolución de conflictos.

Impactos transfronterizos relacionados con acuíferos compartidos: Caracterizando la responsabilidad internacional y la responsabilidad por el daño aborda acuíferos y sistemas acuíferos que subyacen a más de un país: actualmente, 468 acuíferos y sistemas acuíferos en el mundo han sido identificados como transfronterizos. Esta designación significa que el agua subterránea de un acuífero debajo de un país fluye naturalmente hacia áreas debajo de uno o más países vecinos, del mismo modo que un río puede fluir de un país al siguiente.

Los problemas de aguas transfronterizas no ocurren si el agua subterránea de un país se extrae sin influir en las aguas subterráneas del país vecino. Sin embargo, si —por ejemplo— el efecto de la extracción de agua subterránea causa un aumento en flujo de agua subterránea desde el país más alto hacia el país receptor, un conflicto de agua transfronteriza puede ocurrir. De manera similar, puede surgir un problema de aguas transfronterizas si el agua subterránea contaminada de un país migra debajo de otro país.

Aunque el número de acuíferos identificados como transfronterizos involucra a más de un centenar de países, los aspectos legales están poco desarrollados y, más allá de los Estados Unidos, no se han establecido precedentes legales a través de mecanismos formales de resolución de disputas. En este libro, los autores se centran en los conceptos de responsabilidad y responsabilidad de reparar el daño en diversas circunstancias transfronterizas y presentan numerosos escenarios. En cada ejemplo hipotético, el marco hidrogeológico se presenta como un esquema tridimensional para modelar visualmente las circunstancias de las fronteras entre países en relación con el flujo de agua subterránea o las plumas de contaminantes. Los modelos proporcionan un marco para desarrollar el pensamiento espacial entre los lectores, como base para entender la noción de responsabilidad legal respecto a la causa y el efecto. Este es el primero de un par de libros de The Groundwater Project sobre aguas subterráneas transfronterizas; el segundo—próximo a publicarse—es *Identifying International Legal Trends for Managing Transboundary Groundwater Resources* (Eckstein, en prensa).

Los autores de este libro son padre e hijo, con más de 75 años de experiencia práctica, de campo y académica en conjunto. El Dr. Gabriel Eckstein es profesor de derecho en la Universidad Texas A&M y ha dedicado más de 25 años a la enseñanza, investigación y práctica del derecho y políticas del agua a nivel nacional e internacional. El Dr. Yoram Eckstein (1938–2020) fue profesor de hidrogeología en la Universidad Estatal de Kent, quien dedicó más de 50 años enseñando, investigando y realizando trabajos de campo en numerosos países de todo el mundo. Juntos, en este libro, presentan la base para una comprensión y aplicación más amplia de los factores que deben considerarse en disputas y acuerdos sobre aguas subterráneas transfronterizas, así como en el derecho y las políticas internacionales.

John Cherry, Lider de The Groundwater Project
Guelph, Ontario, Canada, Diciembre de 2023

Prefacio

Los recursos de aguas subterráneas que atraviesan fronteras políticas son ahora reconocidos como fuentes críticas de agua dulce a nivel mundial. Esto ha generado situaciones en las que el uso, gestión, explotación, contaminación o administración de un acuífero transfronterizo podría provocar consecuencias negativas para uno o más estados vecinos. Utilizando varios modelos conceptuales de acuíferos transfronterizos para evaluar las relaciones de causa y efecto, este libro explora cuestiones de responsabilidad y sus consecuencias, describiendo diversos escenarios y ejemplos en los que un estado puede ser legalmente responsable ante un estado vecino por actividades relacionadas con un acuífero transfronterizo. El análisis se basa completamente en la ciencia de la hidrogeología y utiliza nociones como las relaciones de ganancia o pérdida de flujo de agua, acuíferos no confinados y confinados, conos de depresión y áreas de influencia, contaminación natural versus antropogénica y otros conceptos hidrogeológicos para explicar los diversos escenarios y circunstancias que podrían resultar en responsabilidad internacional y responsabilidad por reparación de daños transfronterizos.

Al finalizar este libro, el lector podrá:

1. Identificar las posibles consecuencias transfronterizas derivadas del uso, gestión y mala gestión de las aguas subterráneas y los recursos acuíferos transfronterizos.
2. Entender los conceptos de responsabilidad y responsabilidad por reparación de daños en el contexto de las aguas subterráneas y los acuíferos transfronterizos.
3. Aplicar los conceptos de responsabilidad y obligación en diversas circunstancias y escenarios transfronterizos.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente las minuciosas y útiles revisiones y contribuciones a este libro de las siguientes personas:

- ❖ Claire Tiedeman, Científica Emérita, Servicio Geológico de los Estados Unidos;
- ❖ Jean Fried, Científico del Proyecto, Universidad de California Irvine, California, EE.UU.;
- ❖ Alfonso Rivera, Presidente de la Comisión de Acuíferos Transfronterizos de la IAH; Ex Jefe Hidrogeólogo del Servicio Geológico de Canadá, Ottawa, Ontario, Canadá;
- ❖ Dave Owens, Profesor de Derecho, UC Hastings Law, San Francisco, California, EE.UU.;
- ❖ Kevin Pietersen, Profesor Extraordinario, Universidad del Cabo Occidental, Ciudad del Cabo, República de Sudáfrica; y
- ❖ Everton de Oliveira, presidente de Hidroplan, Director-Presidente del Instituto Água Sustentável (Instituto de Agua Sostenible), São Paulo, Brasil.

Agradecemos a Arielle Kalin por trabajar con nosotros en la creación de excelentes figuras para este libro. Estoy agradecido con Amanda Sills y el equipo de formato por su supervisión y la edición de este libro. Agradecemos a Eileen Poeter (Colorado School of Mines, Golden, Colorado, EE. UU.) por revisar, editar y producir este libro.

Las fuentes de las figuras y tablas se citan cuando se adaptan de otras obras publicadas. Donde no se cita una fuente, las figuras o tablas son originales de este libro.

1 Introducción

Los recursos de aguas subterráneas que atraviesan fronteras políticas (acuíferos transfronterizos o ATFs; **Figura 1**) se han convertido en fuentes de agua dulce cada vez más importantes en los ámbitos internacionales y nacionales en todo el mundo. Este enfoque progresivo es una extensión directa de las crecientes necesidades de las naciones y comunidades de nuevas fuentes de agua, así como del impacto que la extracción excesiva, la contaminación, el cambio climático y otras actividades antropogénicas han tenido en las aguas superficiales (Mukherjee et al., 2021). El mayor interés en los ATFs también es el resultado de la creciente comprensión de que las aguas subterráneas no respetan fronteras políticas y que los acuíferos atraviesan líneas jurisdiccionales en todos los niveles de la geografía política y la sociedad civil.

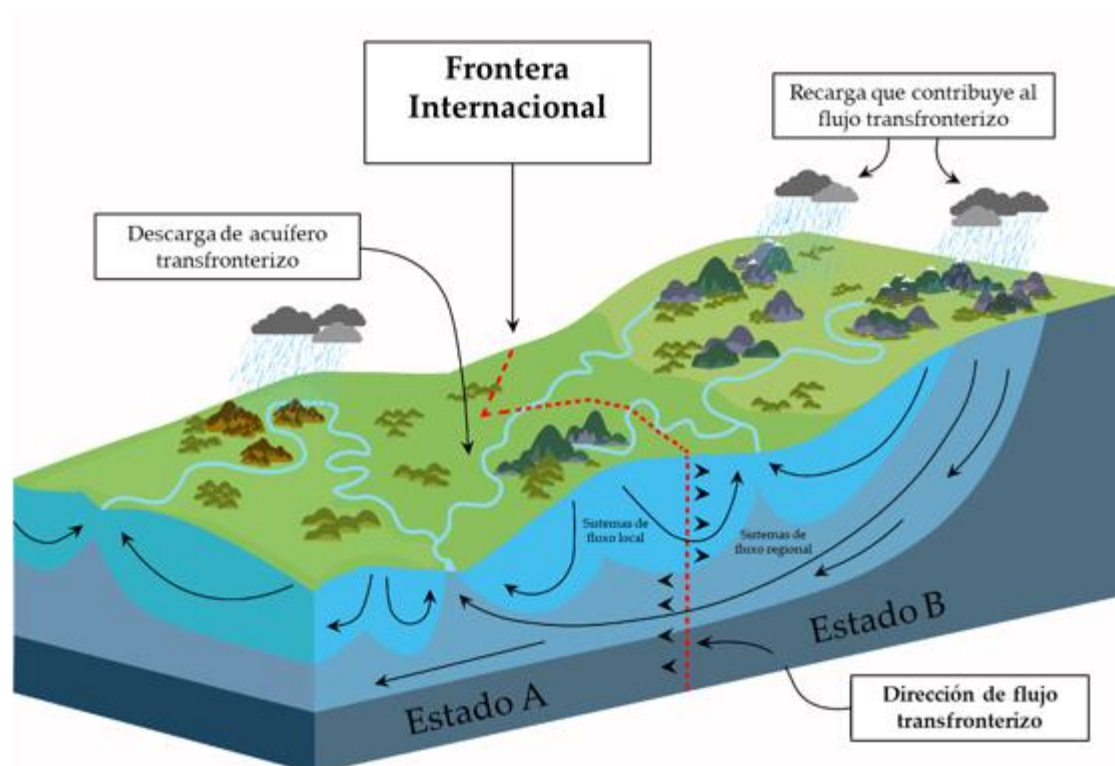


Figura 1 - Ejemplo de un acuífero transfronterizo atravesando una frontera internacional.

Un mapa producido por el Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas (IGRAC) muestra los 468 acuíferos transfronterizos y sistemas acuíferos, aquellos que han sido identificados a nivel mundial hasta 2021. Estos se presentan en la **Figura 2**, **Figura 3**, **Figura 4**, **Figura 5**, **Figura 6** y **Figura 7**.

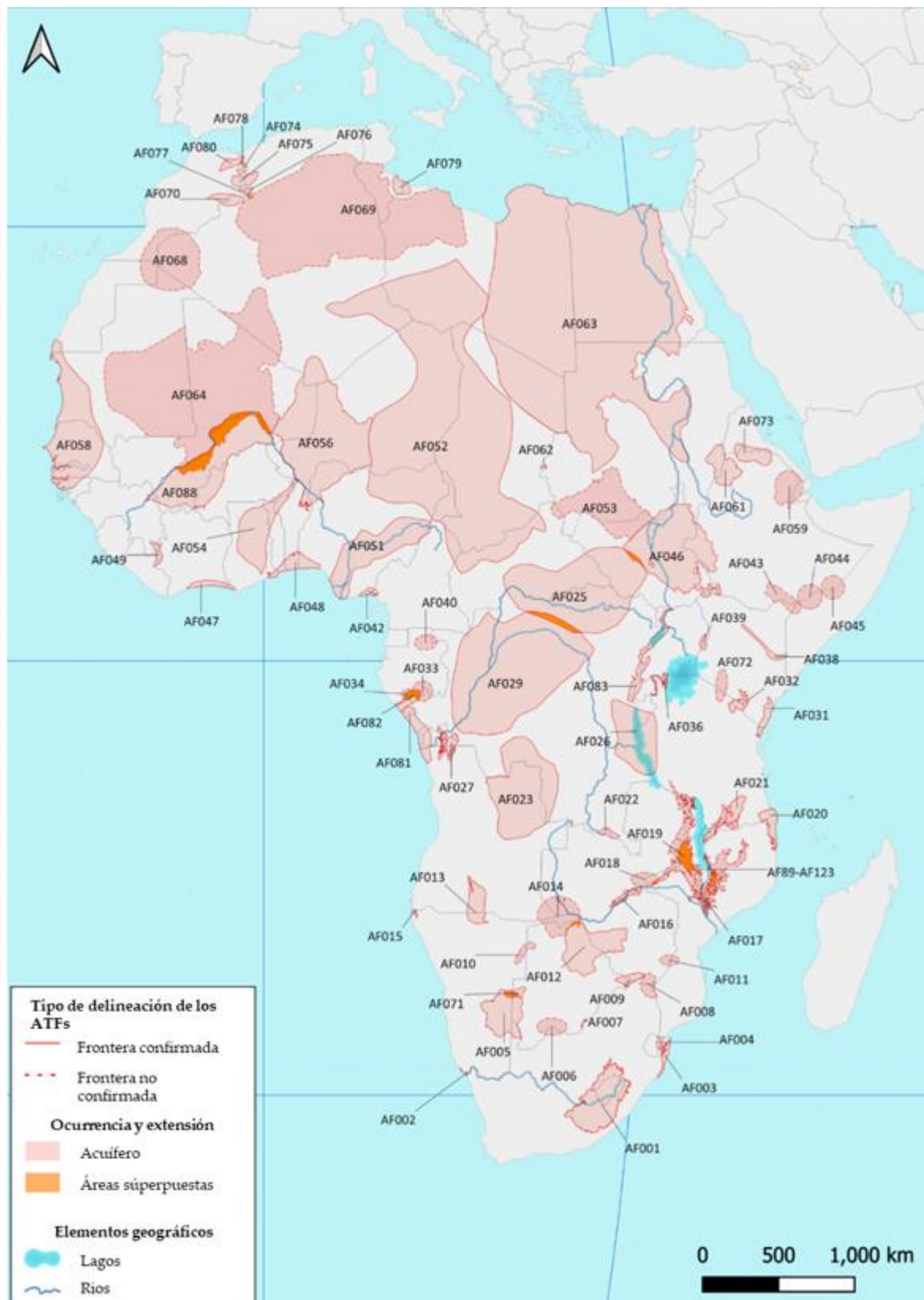


Figura 2 - Acuíferos transfronterizos (ATFs) en África (Autoría de IGRAC, 2022). La enumeración de los acuíferos se presenta en la leyenda del mapa de [IGRAC](#).

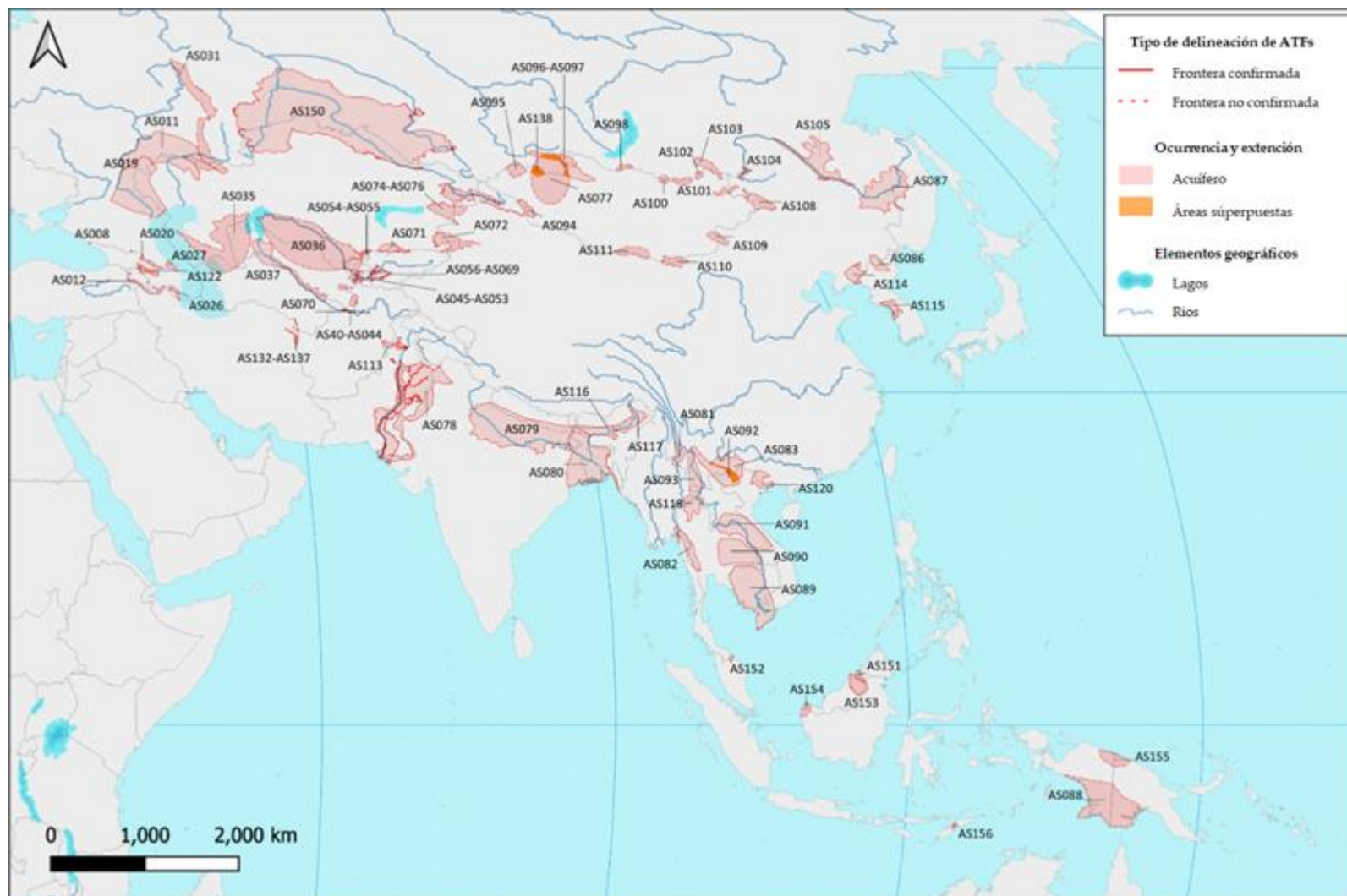


Figura 3 - Acuíferos transfronterizos (ATFs) en Asia y Oceania (Autoría de IGRAC, 2022). La enumeración de los acuíferos está definida en la leyenda del mapa de [IGRAC](#). ↗



Figura 4 - Acuíferos transfronterizos (ATFs) de América Central y del Sur (autoría de IGRAC, 2022). La enumeración de los acuíferos está definida en la leyenda del mapa de [IGRAC](#).

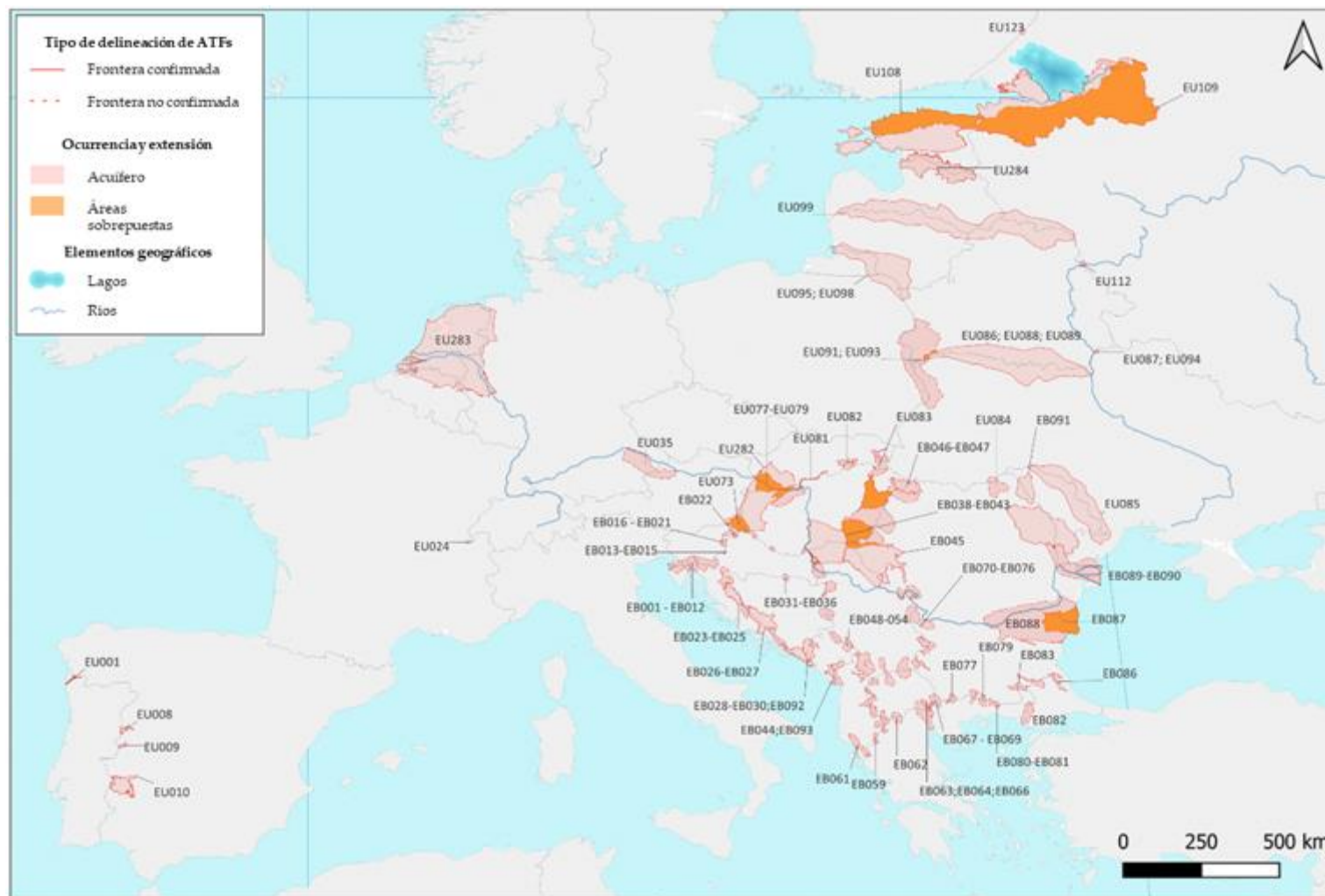


Figura 5 - Acuíferos transfronterizos (ATFs) de Europa (Autoría de IGRAC, 2022). La enumeración de los acuíferos se presenta en la leyenda del mapa de [IGRAC](#).

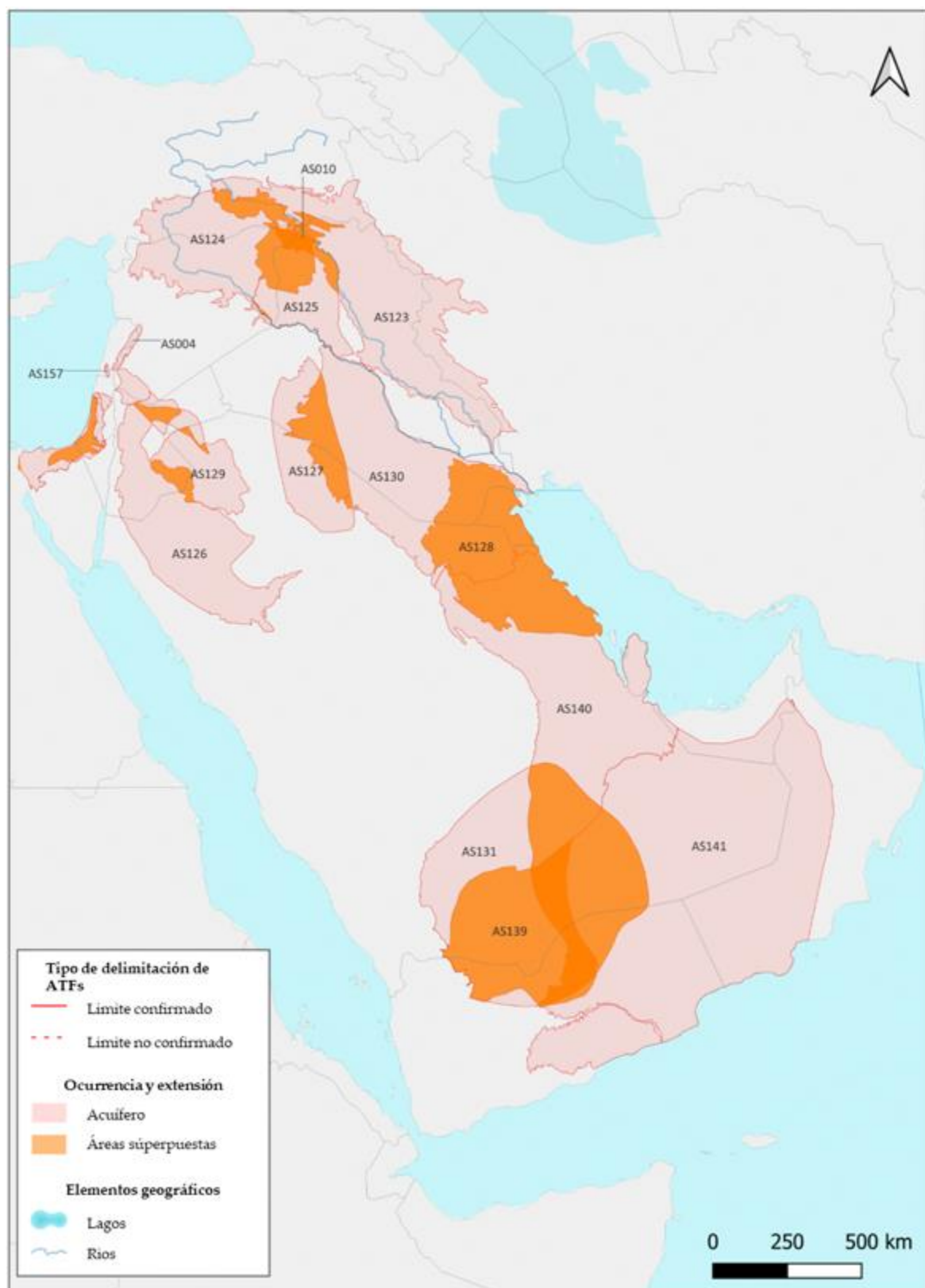


Figura 6 - Acuíferos transfronterizos (ATFs) de Medio Oriente (autoría de IGRAC, 2022). La enumeración de los acuíferos se presenta en la leyenda del mapa de [IGRAC](#).

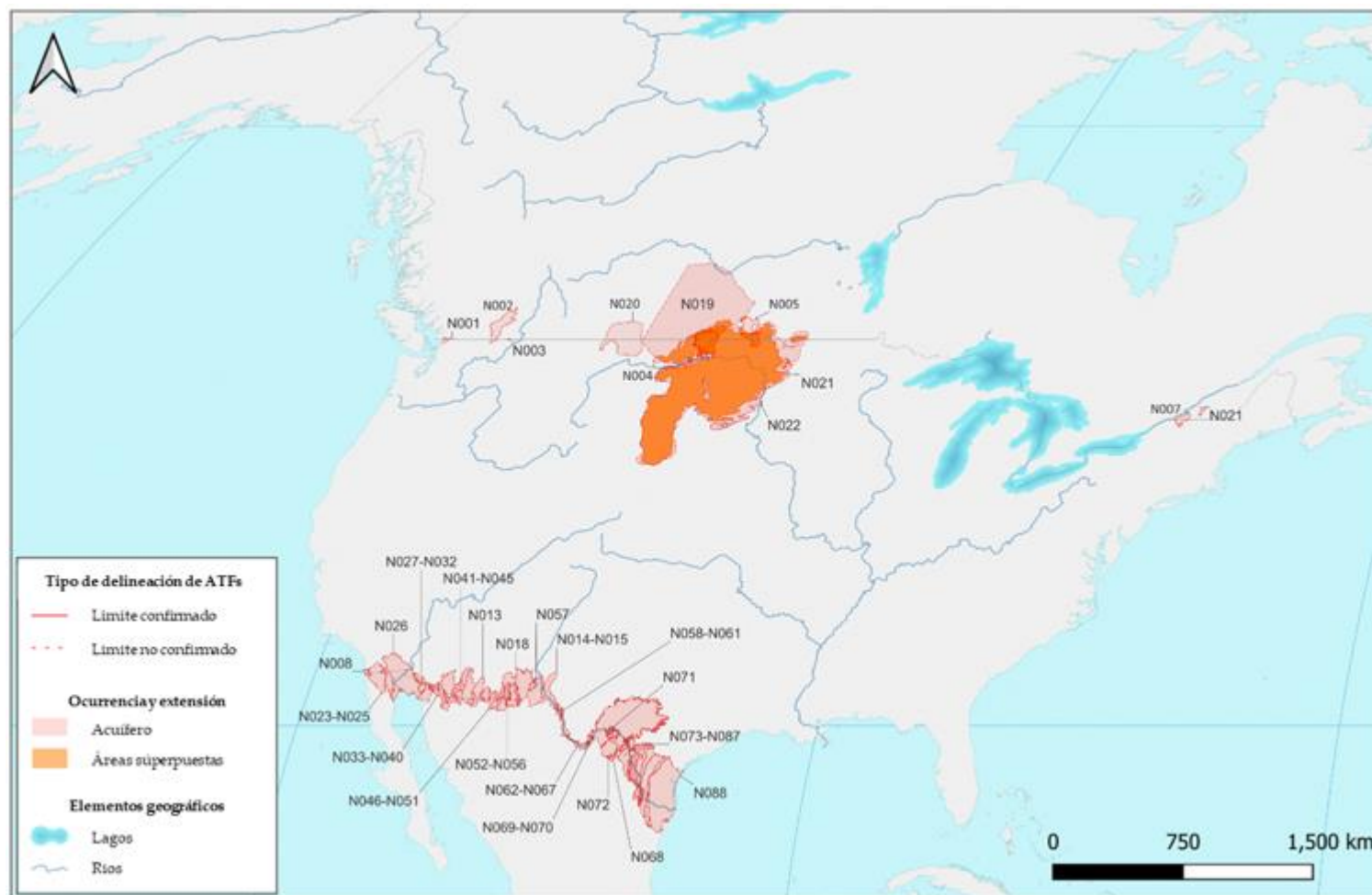


Figura 7 - Acuíferos transfronterizos de América del Norte (autoría de IGRAC, 2022). La enumeración de los acuíferos se presenta en la leyenda del mapa de [IGRAC](#).

Como resultado de la creciente comprensión de los acuíferos transfronterizos (ATFs) y de los recursos de aguas subterráneas transfronterizos en general, han surgido preguntas relacionadas con la responsabilidad en cuanto a la explotación y administración de los recursos de aguas subterráneas que atraviesan fronteras geopolíticas (Hayton & Utton, 1989). Esto ha ocurrido tanto a nivel internacional, donde dos o más naciones soberanas comparten un acuífero común, como a nivel doméstico, donde dos o más unidades políticas subnacionales comparten un mismo acuífero.

A nivel internacional, el tema se abordó al menos desde la década de 1950, cuando la Asociación de Derecho Internacional, una asociación profesional no gubernamental, reconoció que:

Hasta ahora, el derecho internacional se ha ocupado en su mayoría de las aguas superficiales, aunque existen algunos precedentes relacionados con las aguas subterráneas. Puede ser necesario considerar la interdependencia de todas las características hidrológicas y demográficas de una cuenca de drenaje. (Asociación de Derecho Internacional, 1958, p. 924)

Sin embargo, aunque varios investigadores exploraron el tema en círculos académicos, las cuestiones relacionadas con los derechos legales y la regulación de los acuíferos transfronterizos (ATFs) siguieron siendo una prioridad secundaria o incluso terciaria en la agenda internacional hasta principios de la década de 2000, como se muestra en la **Tabla 1** (Eckstein, 2017). Fue entonces cuando la Comisión de Derecho Internacional de las Naciones Unidas (UNILC) comenzó a trabajar en lo que se convirtió en los Artículos Propuestos sobre el Derecho de los Acuíferos Transfronterizos (Resolución de la Asamblea General de la ONU sobre el Derecho de los Acuíferos Transfronterizos, 2008).

Tabla 1 - Breve historia de las aguas subterráneas en Derecho Internacional (Baseado en Eckstein, 2017).

Año	Breve historia de las aguas subterráneas en Derecho Internacional
Meados de 1800	Aunque indirectas, las primeras referencias a las aguas subterráneas surgen en tratados internacionales mediante alusiones a los derechos de las partes sobre los manantiales en la región fronteriza.
Mieados de 1900	El reconocimiento de la interrelación entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas comienza a aparecer en tratados internacionales.
1978	El primer tratado exclusivamente enfocado en un acuífero transfronterizo entre dos naciones (Francia y Suiza) es ratificado.
2002	La Comisión de Derecho Internacional de la ONU asume la tarea de codificar y desarrollar progresivamente el derecho internacional aplicable a los acuíferos transfronterizos.
2008	La Asamblea General de la ONU emite la primera resolución sobre los artículos preliminares de la UNILC ¹ sobre la Ley de Acuíferos Transfronterizos, recomendándolos a la atención de los estados miembros de la ONU para su consideración (repetido en 2011, 2013, 2016, 2019).
2012	La UNECE ² adopta las Disposiciones Modelo sobre Aguas Subterráneas Transfronterizas como directrices para los miembros de la Convención sobre la Protección y el Uso de Cursos de Agua Transfronterizos y Lagos Internacionales.
2022	La ONU declara el 2022 como el año de las aguas subterráneas bajo el tema ' <i>Haciendo lo invisible visible</i> '.
2022	El derecho internacional para los acuíferos transfronterizos y los recursos hídricos subterráneos sigue siendo indefinido y sin reglas explícitas sobre la responsabilidad o la responsabilidad cruzada por el uso, la gestión, la explotación o la administración de un acuífero compartido.

¹ UNILC: Comisión de Derecho Internacional de las Naciones Unidas

² UNECE: Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas

A nivel nacional, se han realizado relativamente pocos esfuerzos en todo el mundo para formular estándares y modelos generales que aborden las implicaciones interjurisdiccionales¹ de acuíferos transfronterizos entre dos unidades políticas subnacionales. Focalizándose en los EE. UU., Eckstein y Hardberger (2008) exploraron los pocos arreglos de acuíferos transfronterizos que existen entre los estados de EE. UU. e identificaron algunas similitudes. Hall y Cavataro (2013) consideraron la ley de aguas subterráneas interestatales, centrándose en la aplicabilidad de la doctrina de distribución equitativa de la Corte Suprema de EE. UU. como mecanismo para asignar acuíferos transfronterizos compartidos entre estados. Luego, Hall y Regalia (2016) exploraron la relevancia de la doctrina del derecho común de EE. UU. sobre molestias para la gestión de acuíferos transfronterizos, enfocándose en la disputa entre Mississippi y Tennessee sobre el acuífero transfronterizo Sparta-Memphis. Más recientemente, Caccese y Fowler (2020)

¹ Nota de la traductora. El término original utilizado por el autor era "transboundary", ya que en inglés se aplica a algo que atraviesa o ocurre más allá de las fronteras nacionales u otros límites interjurisdiccionales. En español, la traducción equivalente sería "transfronterizo", que está prioritariamente vinculado a la idea de frontera, entendida normalmente como la línea que separa dos o más países, mientras que el término "límites" se aplica a las líneas que dividen estados u otros tipos de jurisdicción.

Considerando el contexto, se optó por utilizar el término "interjurisdiccionales". Se destaca que en algunos sistemas jurídicos, las unidades subnacionales tienen el dominio de las aguas subterráneas y una considerable autonomía institucional y regulatoria. Esto permite comparar estos acuíferos interjurisdiccionales con los acuíferos transfronterizos, ya que, aunque sus límites no cruzan el territorio nacional, su gestión se realiza de forma aislada por cada una de estas unidades subnacionales.

discutieron brevemente los pocos ejemplos en el este de EE. UU. de disputas interestatales sobre aguas subterráneas y comisiones de cuenca fluvial que regulan las extracciones de aguas subterráneas en varios estados, identificando lecciones aprendidas. No se han encontrado análisis similares sobre acuíferos transfronterizos subnacionales en otros países del mundo.

Como resultado, la ley aplicable a los recursos de aguas subterráneas transfronterizas, tanto a nivel internacional como nacional, es bastante primitiva, incompleta y se encuentra en una etapa muy temprana de desarrollo. No existen reglas definitivas que aborden cuestiones de responsabilidad y obligación en relación con el uso, gestión, explotación y administración de un acuífero común que subyace en dos o más naciones o unidades políticas subnacionales.

Para proporcionar una base para el desarrollo de tales leyes y regulaciones, este libro explora las circunstancias bajo las cuales el uso, gestión o explotación de un acuífero transfronterizo en una jurisdicción podría causar daño físico o económico a una unidad política vecina y, por lo tanto, podría resultar en responsabilidad legal. Examinamos la explotación y gestión de los recursos de aguas subterráneas transfronterizas desde una perspectiva legal en lugar de una científica.

Para los hidrogeólogos y otros científicos del agua, este enfoque puede parecer imprudente para la gestión adecuada de los recursos de aguas subterráneas. Las líneas políticas, las leyes y los derechos de agua pueden ser a menudo creaciones no científicas y artificiales que no tienen relación con las trayectorias de flujo, la presión hidrostática o la química del agua subterránea. Sin embargo, la realidad de la sociedad moderna es que las leyes y políticas son las herramientas—aunque toscas—que más a menudo utilizan las personas y comunidades para gestionar los recursos naturales.

Sin dejar de lado la perspectiva legal, nuestro análisis está fundamentado en la ciencia del agua. Exploramos las relaciones de causa y efecto en la explotación, contaminación y gestión de los recursos de aguas subterráneas utilizando modelos conceptuales de acuíferos transfronterizos. Luego, traducimos ese análisis en nociones de responsabilidad y responsabilidad por reparación de daños que son más comunes en el ámbito legal.

Como cuestión preliminar, es conveniente diferenciar entre responsabilidad y la responsabilidad por reparación de daño² (**Tabla 2**). Tal como se utiliza en este libro, la

² Nota de traducción: La idea de responsabilidad se concibe de manera diferente en el sistema romano-germánico (también conocido como sistema continental europeo) y en el sistema jurídico de la Common Law (también conocido como sistema anglosajón). En los países que han adoptado el sistema romano-germánico, la responsabilidad ha sido objeto de regulación por parte de los Estados en sus ordenamientos nacionales a través del régimen de responsabilidad civil, mientras que en los sistemas anglosajones su desarrollo se produce a través de la evolución de la Law of Tort, en la que se diferencian los conceptos de responsibility y liability, cuya traducción perfecta al portugués o al español se hacen imposibles. Para más detalles sobre esta dificultad de traducción, consultar TERESA FAJARDO, *La protección del medio ambiente y el desafío climático 50 años después de la declaración de Estocolmo*, Dykinson, 2024, p. 149. Este libro fue escrito por autores originarios

responsabilidad se refiere a una determinación legal de que un actor puede ser culpable de una situación o resultado particular. Sin embargo, la responsabilidad no necesariamente crea una obligación de reparar el problema. Así, un país podría ser considerado responsable por un impacto transfronterizo, pero puede no ser responsable de pagar por cualquier daño resultante.

Tabla 2 - Definición de responsabilidad versus responsabilidad por la reparación del daño.

Termino	Definición
Responsabilidad (<i>responsibility</i>)	Determinación legal que atribuye culpa
Responsabilidad por la reparación del daño (<i>liability</i>)	Determinación legal sobre la obligación de tomar medidas correctivas o compensatorias.

En contraste, la responsabilidad por la reparación del daño se refiere a un hallazgo legal de que un actor está obligado a tomar alguna medida correctiva o compensatoria para abordar una situación o resultado particular. En el contexto transfronterizo, esto puede significar cualquier cosa, desde detener la conducta perjudicial hasta reparar un ambiente dañado o pagar una compensación por el daño causado. En la mayoría de los casos, una parte solo puede ser considerada responsable después de que se demuestre que la misma parte es responsable de la conducta que generó el resultado dañino.

del sistema anglosajón en el que se hace esta diferenciación, lo que exige que se realicen algunas adaptaciones para mantener la coherencia de estos términos dentro de un sistema jurídico distinto. En Brasil, el término 'responsabilidad' puede abarcar los conceptos de *responsibility* y *liability*. De esta manera, la traducción utilizó el término 'responsabilidad' en ambos casos; sin embargo, cuando el libro enfatizaba su distinción o el concepto de *liability*, se adoptó el término 'responsabilidad por la reparación de daños' o 'responsabilidad por daños'

2 El Dilema de Mezclar las Aguas Subterráneas con el Derecho

Las fronteras que demarcan las líneas territoriales de estados soberanos y unidades políticas subnacionales a menudo sirven como base para que estas jurisdicciones reclamen los recursos naturales sólidos que se encuentran dentro de su territorio. Por ejemplo, los derechos sobre el carbón, el uranio y otros depósitos minerales que cruzan fronteras políticas suelen dividirse con respecto a las fronteras geográficas, y el derecho de cada estado o unidad subnacional está directamente relacionado con los recursos que se encuentran físicamente dentro de su territorio. (**Figura 8**). Sin embargo, dividir los depósitos fluidos como las aguas subterráneas entre dos o más jurisdicciones presenta complicaciones únicas, especialmente cuando el agua subterránea es renovable y fluye activamente a través de la frontera.

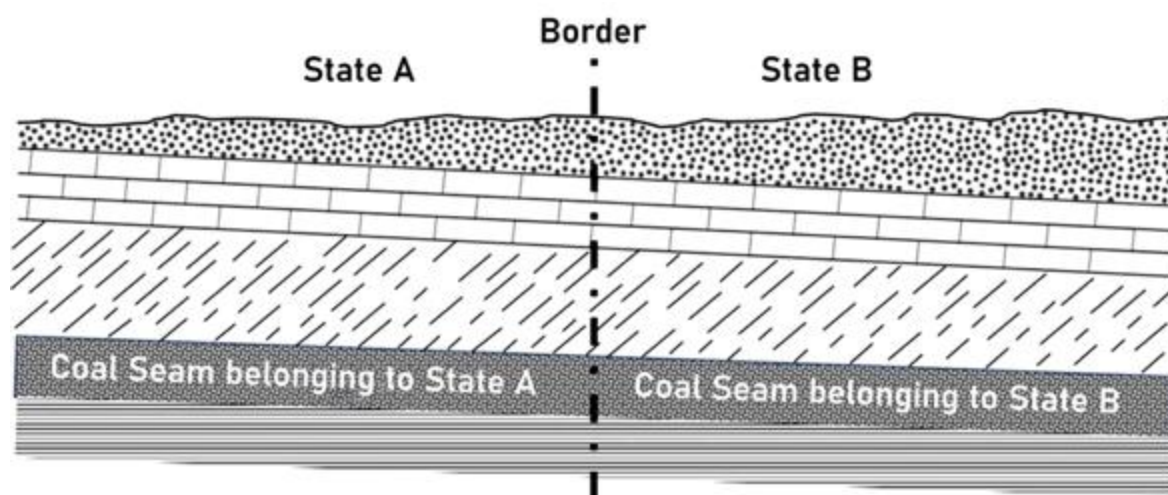


Figura 8 - Derechos sobre los depósitos minerales que atraviesan fronteras administrativas, tales como las vetas de carbón son típicamente divididas en relación con la frontera política, con cada estado o sub-estado autorizado para usar los recursos que se encuentran debajo de su territorio.

El flujo de aguas subterráneas no respeta fronteras políticas, líneas jurisdiccionales ni otras demarcaciones trazadas artificialmente. Más bien, sigue el camino de menor resistencia en función de la permeabilidad, porosidad, presión y otros factores geológicos y naturales (**Figura 9**). Como resultado, los flujos de aguas subterráneas pueden atravesar fronteras administrativas internacionales e intranacionales, convirtiendo así a las unidades políticas nacionales y subnacionales en ribereñas del mismo sistema de acuíferos. En el ámbito jurídico, un *ribereño* es una persona o unidad política que posee tierras inmediatamente adyacentes a un curso de agua natural o cuerpo de agua, o inmediatamente sobre un acuífero. Tanto en ciencia como en derecho, un acuífero es una formación geológicamente definida, mientras que el agua subterránea es el fluido que se mueve a través de esa formación. Por lo tanto, en un contexto transfronterizo con dos

unidades políticas adyacentes, un acuífero transfronterizo se encuentra en y debajo de las dos unidades políticas, el flujo de agua subterránea atraviesa las dos unidades políticas y ambas unidades políticas son ribereñas del acuífero. Una comprensión holística de la ciencia del agua subterránea es fundamental para entender y evaluar los derechos relacionados con los recursos hídricos subterráneos transfronterizos.

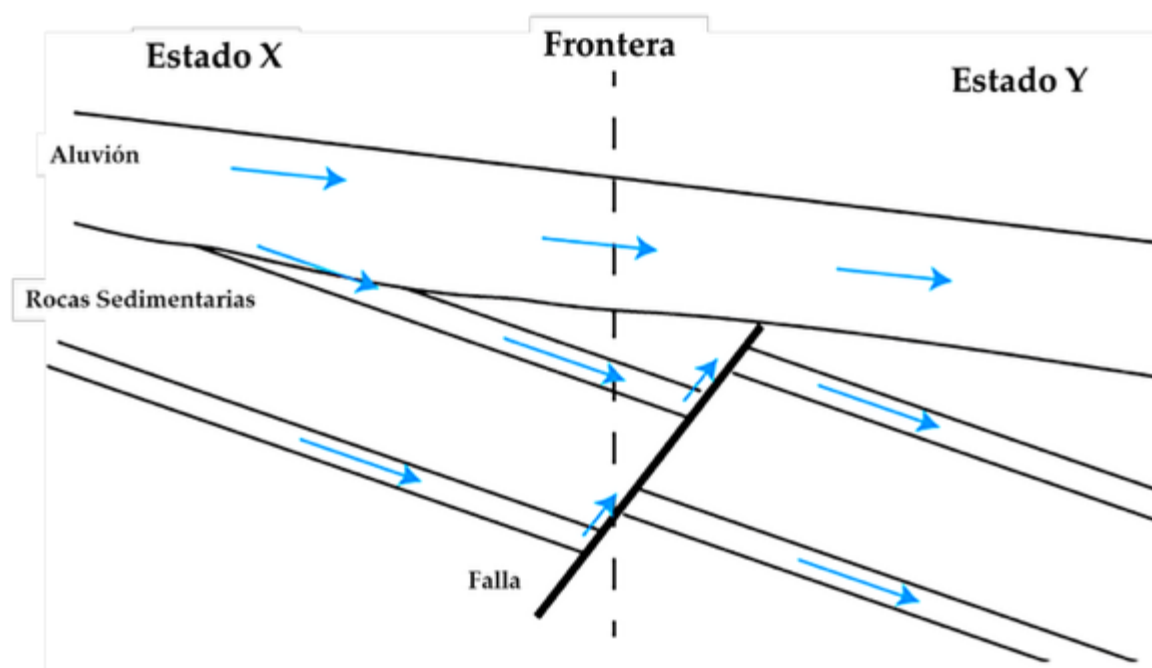


Figura 9 - Flujo de agua subterránea —Las líneas azules muestran la dirección del flujo — debajo de los Estados X y Y, con flujo que atraviesa la frontera política.

En términos de derecho, soberanía y nociones de propiedad sobre los recursos hídricos subterráneos, el desafío radica en determinar las cantidades precisas, o los derechos sobre ellas, que deben corresponder a cada ribereño. Sin embargo, la situación se complica aún más por el hecho de que el flujo de agua subterránea ocurre de forma invisible, bajo tierra, no se mueve típicamente en una dirección lineal y puede ser difícil de medir con precisión. Por lo tanto, con fines de asignar la propiedad legal o derechos de *usufructo* —el derecho legal a usar, pero no a poseer el agua— sobre los recursos hídricos subterráneos, es impracticable incluso intentar adjuntar un punto de origen a cualquier gota de agua, o predecir el momento preciso en que una gota en un acuífero transfronterizo cruza una frontera política.

Además, con la posible excepción de las aguas subterráneas fósiles (que datan de miles o millones de años) y las aguas subterráneas connotadas (atrapadas en los poros de una roca durante la formación del acuífero), la mayoría de los acuíferos están hídricamente vinculados al ciclo del agua, y reciben y transmiten regularmente agua a otros componentes del sistema. Como resultado, un acuífero puede estar sujeto a fluctuaciones tanto en la cantidad como en la calidad del agua en relación con la recarga, el drenaje, la precipitación, la evaporación y otros cambios en el sistema. Esto complica aún más la designación de

derechos soberanos y otros derechos relacionados con los recursos hídricos subterráneos transfronterizos y requiere una comprensión holística de la ciencia del agua subterránea al evaluar las implicaciones legales.

¿Bajo qué circunstancias podrían las aguas subterráneas o un acuífero generar implicaciones legales transfronterizas, ya sea a nivel internacional o entre unidades políticas subnacionales? ¿Qué condiciones podrían desencadenar consecuencias transfronterizas y en qué escenarios pueden anularse? Estas son las preguntas que plantean los gobiernos a nivel nacional y subnacional, y que requieren un mayor escrutinio y que se explorarán en las páginas siguientes.

3 La Ley que Rige a los Acuíferos que Cruzan Fronteras Políticas

Antes de discutir las implicaciones legales transfronterizas de los recursos hídricos subterráneos compartidos, es necesario primero identificar qué derechos disfrutaban las zonas ribereñas de los acuíferos.

El derecho internacional para gestionar y asignar recursos hídricos subterráneos transfronterizos todavía está en su infancia y los derechos de los países sobre dichos recursos aún no se han definido completamente; hasta ahora no existe una serie de normas consuetudinarias ampliamente aceptadas que encapsulen las reglas que rigen la conducta estatal en este ámbito (Eckstein, 2017). El intento más significativo de formular normas legales para el uso, gestión, explotación y administración de aguas subterráneas que cruzan fronteras internacionales fue llevado a cabo entre 2002 y 2008 por la Comisión de Derecho Internacional de la ONU: los Artículos Preliminares sobre la Ley de Acuíferos Transfronterizos (Comisión de Derecho Internacional de la ONU, 2008; como se indica en la **Tabla 1** de este libro). Ese producto de trabajo fue presentado a la Asamblea General de la ONU (AGNU) para su consideración y ha estado en la agenda de la Asamblea en 2008, 2011, 2013, 2016, 2019 y 2022. Sin embargo, cada vez que se recomendaba el asunto a la atención de los estados miembros de la ONU, se posponía su consideración hasta una reunión futura. El proyecto de artículos se incluyó por última vez en la agenda de la Asamblea General de las Naciones Unidas, que se evaluará en el otoño de 2026 (AGNU, 2022) (AGNU, 2022).

Como cuestión de derecho internacional sustantivo, basado en los Artículos Preliminares y el pequeño número de tratados y acuerdos que actualmente existen para acuíferos transfronterizos en todo el mundo, lo más que se puede afirmar hoy es que:

1. Una zona ribereña de acuífero tiene algunos derechos aún no completamente definidos para usar y disfrutar de las aguas subterráneas de un acuífero que se encuentra tanto en su territorio como en el de una jurisdicción vecina; y,
2. cuando ese uso y disfrute interfiere con los derechos equivalentes de la zona ribereña del acuífero vecino para usar y disfrutar de las aguas subterráneas que se encuentran en su propio territorio, tales derechos pueden estar sujetos a restricciones y posible responsabilidad por reparación de daños (Eckstein, 2017)."

Aún no se ha determinado si los derechos en conflicto se basan en los dos principios fundamentales del derecho internacional del agua —uso equitativo y razonable, y no causar daños significativos—. En términos de derechos y obligaciones procesales para el uso de acuíferos transfronterizos, cuatro principios parecen estar avanzando hacia su aceptación como normas consuetudinarias. Eckstein (2017) describe que estos principios incluyen obligaciones de:

1. intercambiar regularmente datos e información sobre el acuífero transfronterizo,
2. monitorear y generar datos e información complementarios sobre el acuífero transfronterizo,
3. proporcionar aviso previo de actividades planeadas que puedan afectar negativamente el territorio de otro ribereño de acuífero o el acuífero transfronterizo en sí, y
4. crear un mecanismo institucional para facilitar o implementar las obligaciones anteriores.

A nivel nacional interestatal, la situación no es mucho mejor. La ley aplicable a tales recursos interjurisdiccionales depende necesariamente de las leyes nacionales del país en el que se encuentra el recurso. En sistemas federales, donde las unidades subnacionales tienen cierto grado de soberanía sobre los recursos y las actividades que ocurren dentro de sus fronteras—como en Estados Unidos, India, Brasil y Australia—la ley se basa en la relación legal entre los gobiernos federal y estatal, así como en la jurisprudencia intraestatal que puede existir en el país. Así, en Estados Unidos, por ejemplo, las disputas sobre aguas interestatales pueden resolverse por la Corte Suprema de EE. UU. bajo la doctrina de distribución equitativa. De hecho, esa venerable Corte recientemente adjudicó el primer caso decidido jamás por la corte suprema de ninguna nación que involucra recursos hídricos subterráneos interestatales. En el caso de *Mississippi v. Tennessee*, la Corte concluyó que los estados de EE. UU. no pueden ejercer propiedad o control exclusivo sobre las aguas de un acuífero interestatal y que tales acuíferos están sujetos a distribución equitativa entre los ribereños superpuestos (*Mississippi v. Tennessee*, 2021). Como el primer caso de su tipo, todavía hay una escasez de experiencia y jurisprudencia de la cual se pueda derivar responsabilidad y responsabilidad por reparación de daños frente a los impactos transfronterizos a nivel interestatal nacional.

Dado que los derechos y obligaciones de los ribereños de acuíferos todavía están en sus primeras etapas de desarrollo y siguen siendo inconclusos en todos los niveles jurisdiccionales, el análisis que sigue es algo crudo en el sentido de que simplemente considera varios escenarios de interferencia transfronteriza con los posibles derechos legales de unidades políticas vecinas. A pesar de su enfoque simplista, el análisis ofrece cierta visión sobre cuándo la responsabilidad y/o deber de reparar daños podría surgir derivado del uso, gestión, explotación o administración de un acuífero transfronterizo. El enfoque aquí está en violaciones de principios sustantivos—aquellos que infringen los derechos o, en esta etapa, los posibles derechos—de los estados y que pueden resultar en daños físicos o económicos.

Estos principios son de particular preocupación cuando los estados emprenden actividades afirmativas directamente relacionadas con un acuífero, como bombear aguas subterráneas, contaminar intencional o sin intención un acuífero, extraer la matriz de un

acuífero, desviar flujos tributarios que —bajo condiciones naturales— alimentan el acuífero, y gestionar actividades en la zona de recarga de un acuífero de una manera que afecte el volumen o la calidad de la recarga natural. Los remedios por violaciones de derechos sustantivos varían desde detener la conducta ofensiva hasta reparar cualquier daño causado o pagar compensación por el perjuicio. En este libro, no consideraremos violaciones de deberes procesales donde el remedio típicamente implica el cumplimiento de esas obligaciones.

4 Caracterización de la Responsabilidad y la reparación por Impactos Transfronterizos

Basado en Eckstein y Eckstein (2005) y Eckstein (2017), las subsecciones de esta Sección 4 presentan modelos de escenarios en los cuales los recursos de aguas subterráneas pueden tener implicaciones transfronterizas. Estos modelos conceptuales representan las circunstancias más probables en las que el uso de un acuífero podría generar un impacto —generalmente negativo, pero potencialmente positivo— a través de una frontera política. A través de la explicación de los modelos, destacamos y examinamos circunstancias específicas para impactos transfronterizos, e identificamos responsabilidad e instancias de potencial responsabilidad por la reparación de daños. De manera significativa, los modelos se aplican tanto a nivel internacional (es decir, entre naciones) como entre unidades políticas subnacionales dentro de un mismo país. Además, todos son modelos genéricos científicamente válidos, ya que están en concordancia con el estado actual del conocimiento sobre la ciencia de las aguas subterráneas.

Aunque este libro se centra en los acuíferos que atraviesan fronteras políticas internacionales, la discusión es igualmente aplicable a los acuíferos que cruzan fronteras políticas subnacionales, como entre estados subnacionales. Para simplificar, el análisis utilizará el término *Estado* al referirse a jurisdicciones políticas distintas, ya sea a nivel internacional o subnacional. Así, a lo largo de nuestra discusión, el término Estado puede sustituirse fácilmente por *nación, cantón, provincia, condado*, u otra designación jurisdiccional según el escenario transfronterizo particular. Además, el lector debe notar que muchos conceptos técnicos se describen con un detalle particular en la sección que aborda el escenario etiquetado como Modelo A, pero—para avanzar en la discusión—con menos detalle en las secciones posteriores que hacen referencia a otros modelos. Por lo tanto, se recomienda una lectura exhaustiva del Modelo A para comprender mejor los otros modelos.

4.1 Modelo A: Acuífero transfronterizo no confinado vinculado hidrológicamente a un río transfronterizo contiguo

El Modelo A (**Figura 10**) representa un acuífero no confinado que está vinculado hidrológicamente con un *río contiguo*, un río que fluye a lo largo de la frontera y forma el límite entre dos estados ribereños. En este caso, el río constituye la frontera entre el Estado A y el Estado B. El acuífero se considera transfronterizo porque la formación geológica y el agua subterránea contenida en ella atraviesan por debajo y cruzan la frontera política.

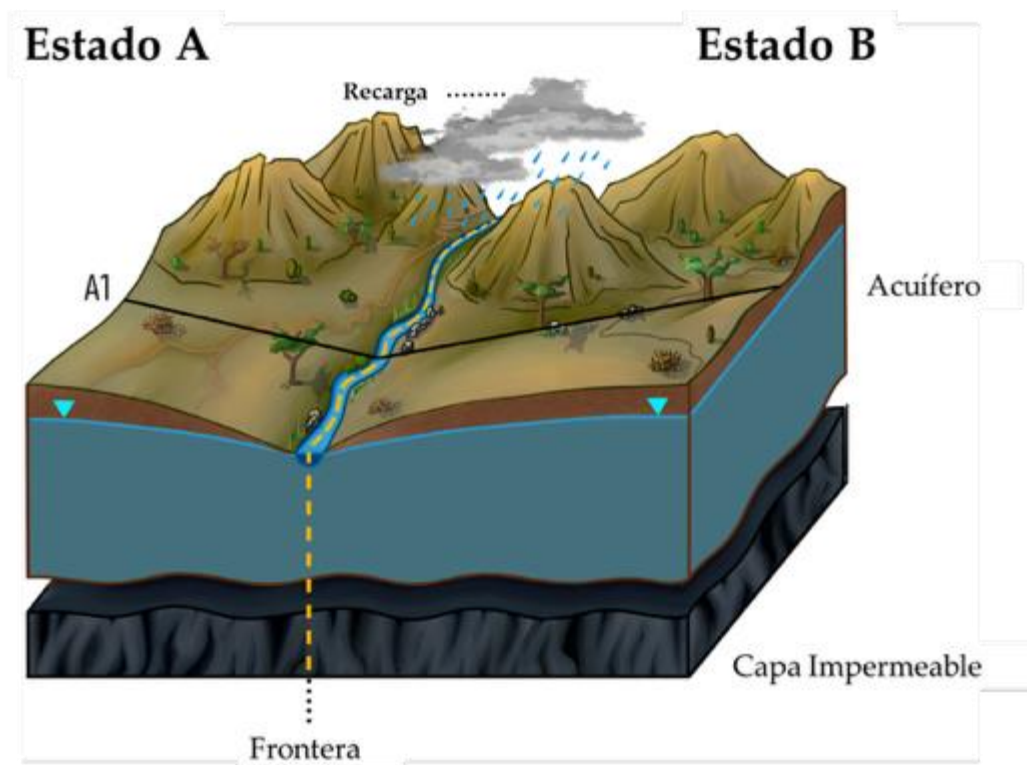


Figura 10 - Modelo A: Un acuífero no confinado vinculado hidrológicamente a el río contiguo. La línea A1 indica la ubicación de la sección transversal referenciada en los diagramas subsiguientes.

La **Figura 11** ilustra el nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea a lo largo de la sección transversal A1 en condiciones naturales (sin bombeo), mostrando que el agua subterránea descarga en el río desde ambos lados de la frontera entre los Estados A y B. El río también se considera transfronterizo cuando la frontera oficial entre los dos estados se encuentra dentro del cauce mismo — como ocurre en la gran mayoría de las fronteras formadas por ríos contiguos — en lugar de estar en la orilla de uno de los ribereños, lo que haría que el flujo fuera completamente doméstico para el otro estado vecino. En tal escenario, se considera que el agua dentro del curso fluvial fluye tanto al lado como dentro de ambos estados.

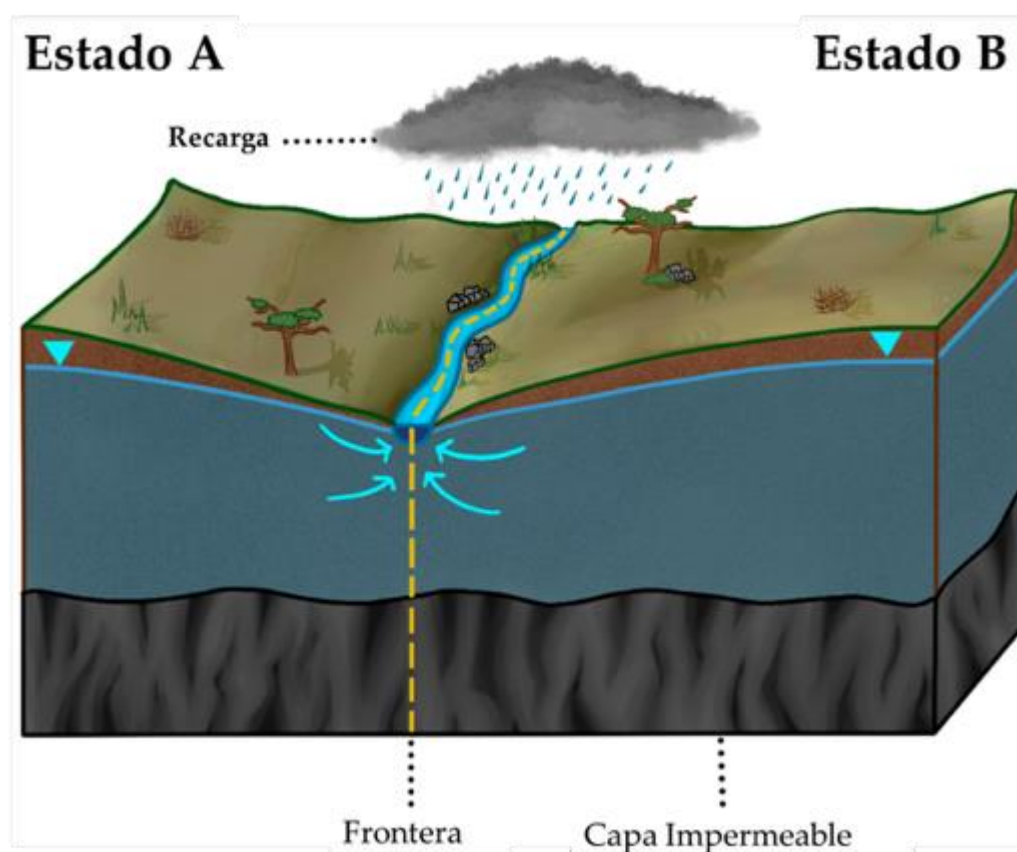


Figura 11 - Modelo A con un río efluente en condiciones hidrológicas naturales (sin bombeo) mostrando el nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea a lo largo de la sección transversal A1. El sistema de aguas subterráneas es recargado por precipitación que cae sobre la superficie terrestre; toda la descarga va hacia el río.

Una de las características geológicas críticas de este modelo es que el acuífero no confinado está atravesado por un río contiguo interrelacionado. Aunque el acuífero constituye un único cuerpo de agua, partes del cual residen a ambos lados de la frontera política, la bifurcación del acuífero por el río precisamente a lo largo de la línea fronteriza, en condiciones naturales, puede minimizar los impactos que las actividades en un lado de la frontera (por ejemplo, el Estado A) pueden tener en el otro lado (por ejemplo, el Estado B). Esto es cierto cuando el río es una corriente *efluente* (recibe agua del acuífero) o una corriente *afluente* (pierde agua hacia el acuífero).

Por ejemplo, consideremos que el Estado A en el Modelo A ha decidido explotar artificialmente su sección del acuífero transfronterizo perforando uno o más pozos en las cercanías de la frontera. Supongamos también, como se sugiere en el Modelo A, que el río contiguo que biseca el acuífero no confinado es una corriente efluente. El resultado de esta ilustración depende en gran medida de la magnitud de las actividades de extracción del Estado A y da lugar a tres posibles escenarios que se muestran en la **Figura 12**, **Figura 13** y **Figura 14**. De los tres, el segundo (**Figura 13**) y el tercer escenario (**Figura 14**) resultan en un impacto transfronterizo negativo que puede ser objeto de acciones legales.

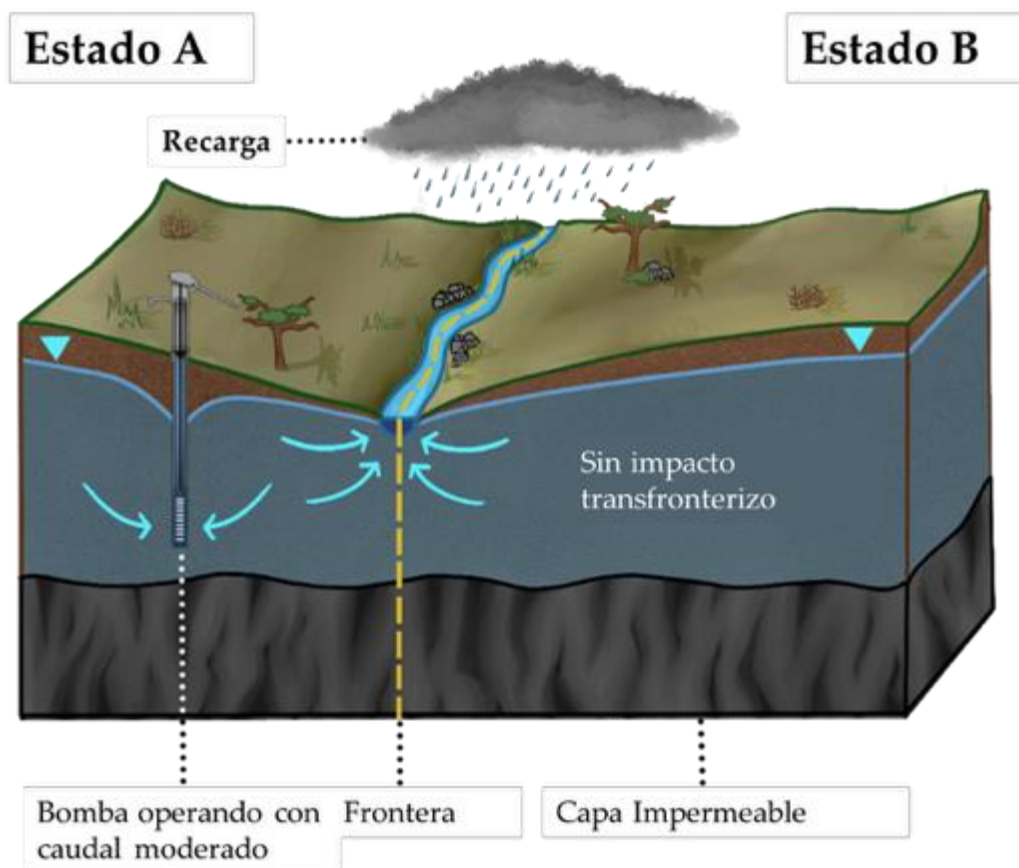


Figura 12 - Estado A bombea con un caudal moderado en el Modelo A, teniendo como base un río efluente, lo que produce la configuración del nivel freático y las direcciones de flujo de agua subterránea que se muestran a lo largo de la sección transversal A1. El área de influencia (el área alrededor del pozo que es afectada por el bombeo del pozo) no llega al río; no hay impacto en el flujo del río hasta que el agua subterránea almacenada en la zona de bombeo se agote y el sistema se acerque a condiciones estacionarias. En última instancia, el caudal del río disminuirá como máximo a un ritmo igual al ritmo de bombeo, que captura la recarga que de otro modo iría al río. La disminución del caudal del río puede ser menor que la tasa de bombeo porque la depresión del agua subterránea puede disminuir la pérdida de agua subterránea por evapotranspiración. Por tanto, no hay impacto transfronterizo en el Estado B.

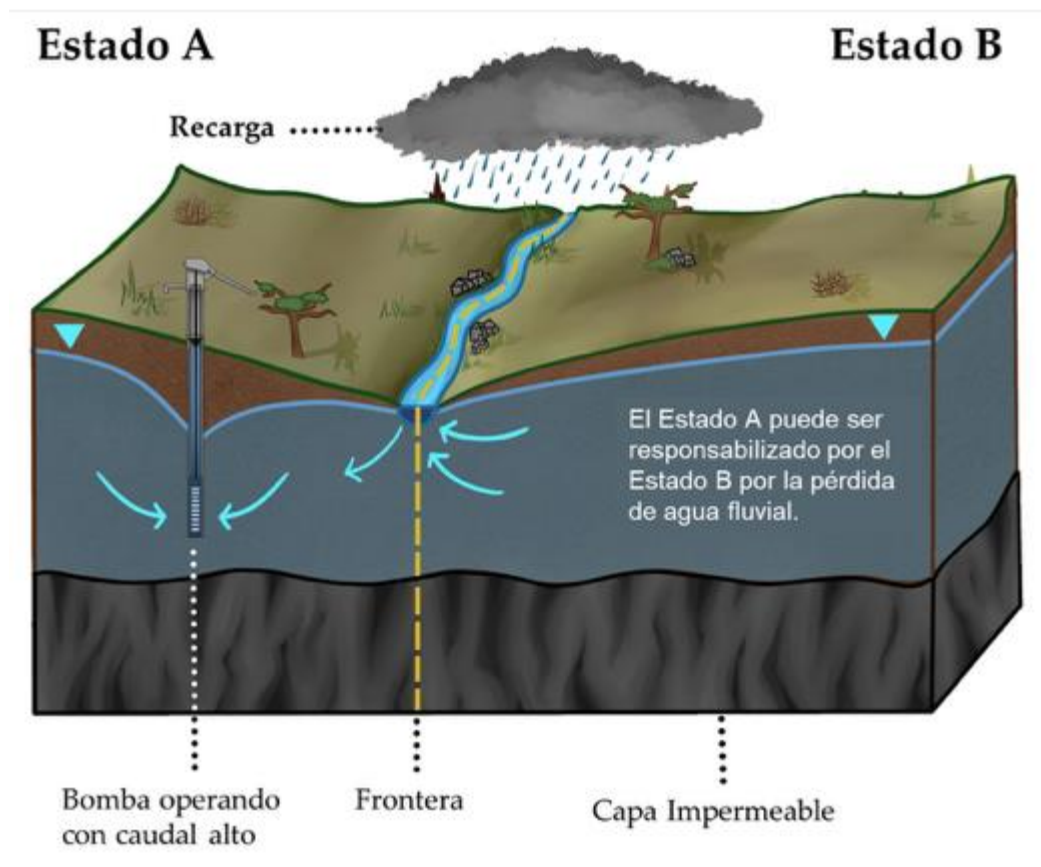


Figura 13 - El Estado A bombea caudales altos en el Modelo A, con un río efluente, lo que produce la configuración del nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea que se muestran a lo largo de la sección transversal A1. El área de influencia del pozo de bombeo se extiende hasta el río, causando que parte del agua que fluye en el río se infiltre en el sistema de agua subterránea, lo que disminuye el nivel del río en comparación con el escenario anterior (**Figura 12**). Debido a la disminución del flujo en el río, el Estado B tiene una posible reclamación de responsabilidad contra el Estado A por la pérdida del uso del agua del río.

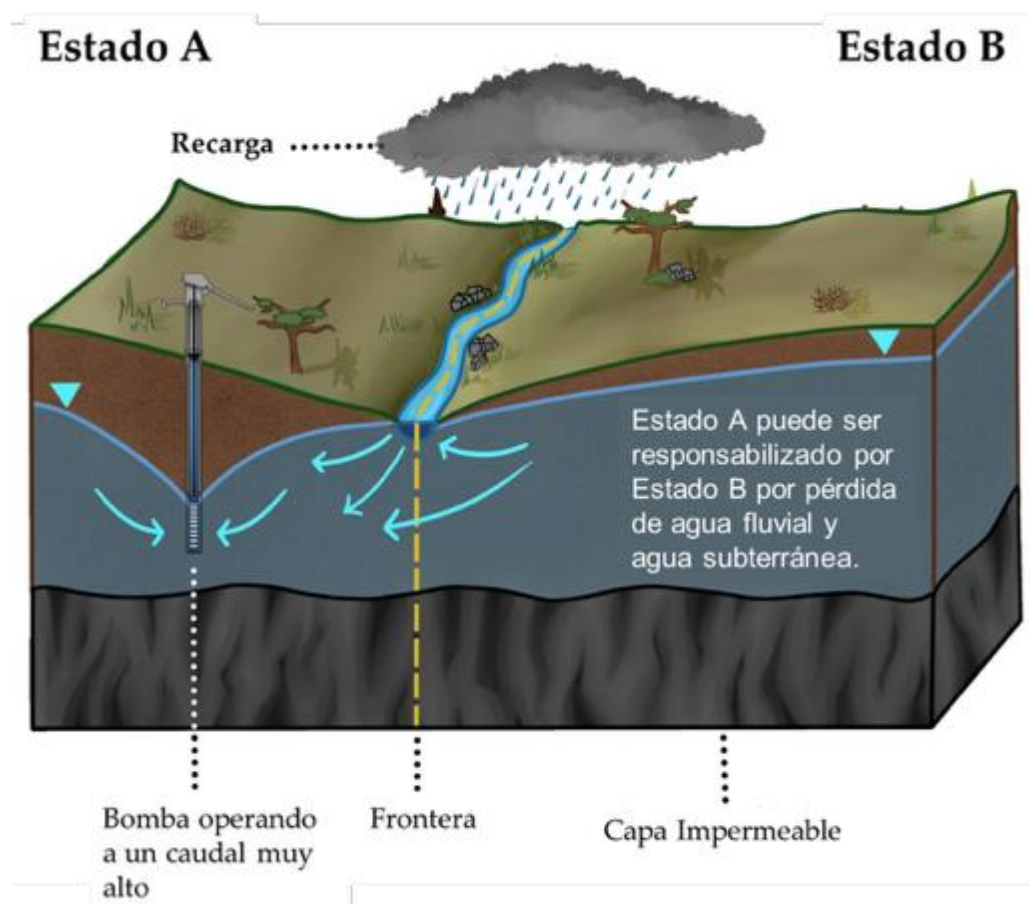


Figura 14 - El Estado A bombea a un caudal muy alto en el Modelo A con un río efluente, produciendo la configuración del nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea mostradas a lo largo de la sección transversal A1. El área de influencia del pozo de bombeo se extiende más allá del río y hacia el Estado B, agotando el almacenamiento de agua subterránea debajo del Estado B y causando que el agua subterránea fluya a través de la frontera desde el Estado B hacia el Estado A. El flujo del río hacia el acuífero aumenta en comparación con el escenario anterior (**Figura 13**), causando niveles de río más bajos. El Estado B tiene una posible reclamación de responsabilidad contra el Estado A por la pérdida del uso tanto del agua fluvial como del agua subterránea.

En el primer escenario, donde la extracción artificial del pozo en el Estado A ocurre a una tasa moderada en relación con la recarga natural, el potencial hidráulico del acuífero, combinado con el flujo río abajo del río contiguo, amortiguaría los efectos de cantidad y calidad en ambos lados de la frontera (**Figura 12**). Dado que la dirección del flujo en un río efluente es del acuífero hacia el río, la extracción del acuífero en el Estado A a una tasa moderada tendría poco o ningún impacto en la sección del acuífero en el Estado B o en el río binacional. Como resultado, el impacto transfronterizo en este escenario sería insignificante y, por lo tanto, no habría base para una reclamación legal.

En el segundo escenario, la tasa y el volumen de bombeo de agua subterránea en el Estado A se intensifican hasta el punto en que el área de influencia alrededor del pozo se extiende hasta el río, aunque no más allá de él (**Figura 13**). Aquí, el impacto de las actividades de extracción artificial podría afectar al río al cambiar su relación de ganancia con el acuífero a una asociación de pérdida dentro del cono de depresión. Como resultado,

parte del agua que había fluído en el río en condiciones naturales ahora sería absorbida por el acuífero y hacia el pozo en el lado del Estado A de la frontera. En este sentido, el Estado A sería responsable del impacto localizado y transfronterizo. En la medida en que esto tenga un impacto significativo en la capacidad del Estado B para usar o disfrutar de su parte equitativa y razonable del agua del río transfronterizo, el Estado B también podría tener una reclamación de responsabilidad contra el Estado A.

Es importante señalar que, en este segundo escenario, el cono de depresión se encuentra solo en el Estado A (**Figura 13**). Como resultado, en el lado opuesto del acuífero en el Estado B, el lado que no está siendo bombeado, el río continuará su relación natural de ganancia con el acuífero. De manera similar, otras secciones del río que se encuentran fuera del área de influencia—en ambos lados del río, tanto río arriba como río abajo del pozo del Estado A—también mantendrán sus caminos de flujo natural y su relación de ganancia con el acuífero, y no se verán afectadas por las actividades de bombeo del Estado A.

El segundo escenario establece las bases para el tercer escenario, donde las actividades de extracción artificial del Estado A son tan considerables que el área de influencia del pozo de bombeo se extiende más allá de la frontera hacia el Estado B. En este escenario, el bombeo en el Estado A tendría un impacto tanto en el río como en el acuífero dentro del Estado B (**Figura 14**).

Debido a que el área de influencia se extiende más allá de la frontera, el río podría cambiar de una relación de ganancia a una de pérdida con el acuífero dentro del cono de depresión en ambos lados del río y, por lo tanto, en ambos estados. Al igual que en el segundo escenario (**Figura 13**), en la medida en que esto tenga un impacto significativo en la capacidad del Estado B para usar o disfrutar de su parte equitativa y razonable del agua del río, el Estado B podría tener una reclamación de responsabilidad por reparación de los daños producidos contra el Estado A. Además, dado que el cono de depresión se extiende hacia el Estado B, el bombeo en el Estado A podría cambiar el camino de flujo natural del acuífero dentro del área de influencia del cono y causar que el agua subterránea fluya desde el Estado B a través de la frontera hacia el Estado A. Donde ese flujo impacte significativamente en la capacidad del Estado B para extraer, usar o disfrutar del agua del acuífero, el Estado A podría ser responsable por la reparación de daños ante el Estado B.

La **Figura 12**, la **Figura 13** y la **Figura 14** muestran cada una las condiciones en un único momento en el tiempo; sin embargo, en los acuíferos sujetos a bombeo, los caminos de flujo cambian con el tiempo a medida que avanza el bombeo. Se proporciona una serie de videos que muestran los caminos de flujo que varían en el tiempo bajo condiciones de bombeo en un acuífero transfronterizo que es similar al Modelo A:

- Video 1 (**Figura 15**) muestra una vista en sección transversal.
- Video 2 (**Figura 16**) muestra una vista tridimensional.

- Video 3 (**Figura 17**) muestra ambas vistas e incluye explicaciones de los cambios que ocurren a medida que avanza el bombeo.

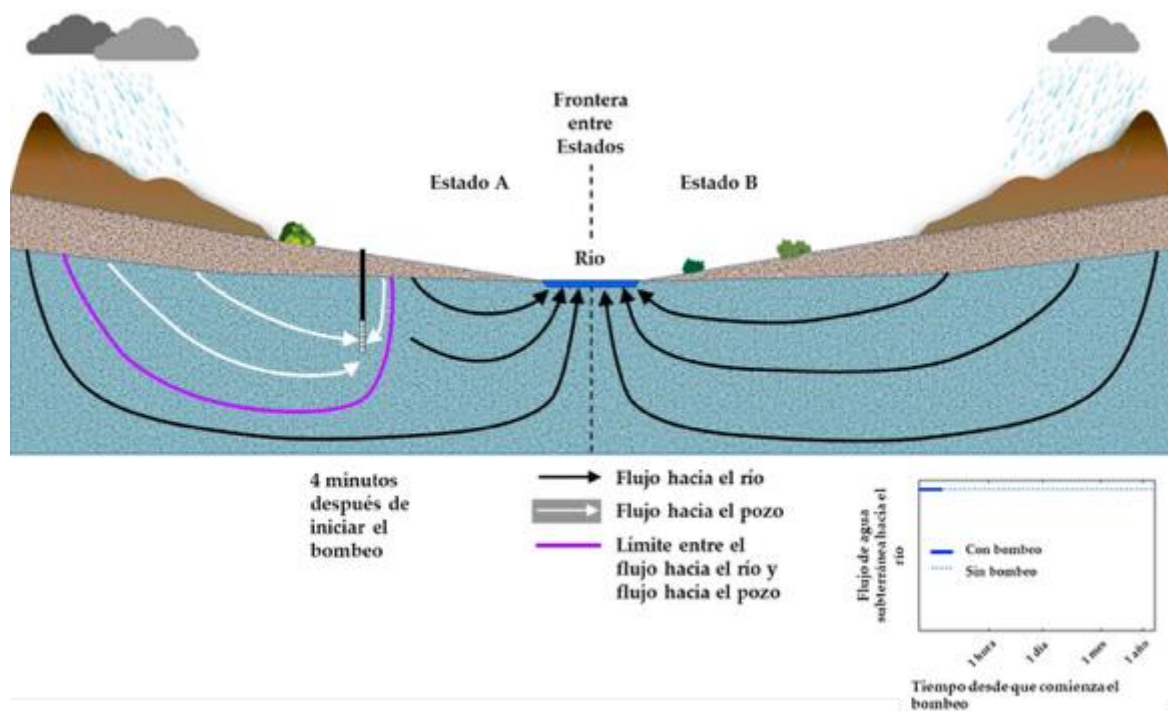


Figura 15 - Esta imagen fue tomada de un [video](#) que muestra una animación de los caminos de flujo de agua subterránea que varían en el tiempo bajo condiciones de bombeo en un acuífero transfronterizo conectado a un río de ganancia, similar al Modelo A. El video está disponible al hacer clic en el enlace en esta leyenda, indicado por la flecha blanca en el recuadro rojo.

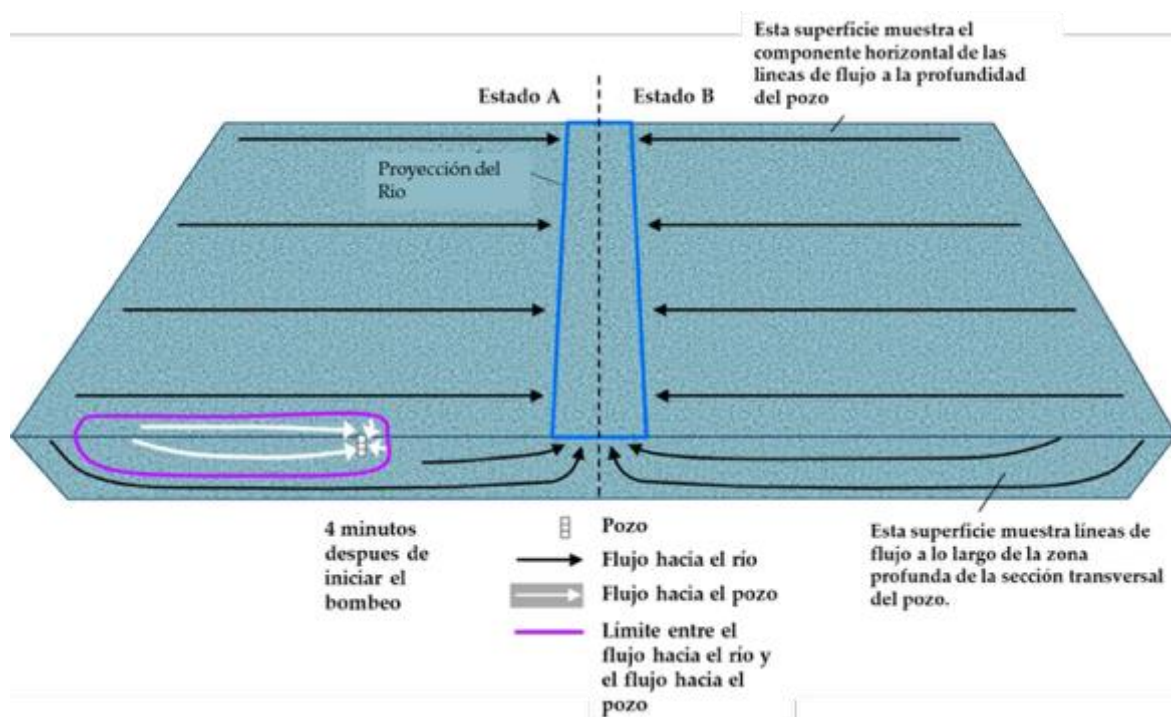


Figura 16 - Esta imagen fue tomada de un [video](#) que muestra una animación de los caminos de flujo de agua subterránea que varían en el tiempo, en lo profundo de un acuífero transfronterizo conectado a un río en aumento bajo condiciones de bombeo similares al Modelo A. Esta vista representa el componente horizontal del flujo en un plano a la profundidad del pozo, con la ubicación del río en la superficie terrestre proyectada hacia abajo hasta esta profundidad, y muestra el flujo a lo largo de una sección transversal a través del pozo. El video está disponible al hacer clic en el enlace en esta leyenda, indicado por la flecha blanca en el cuadro rojo.

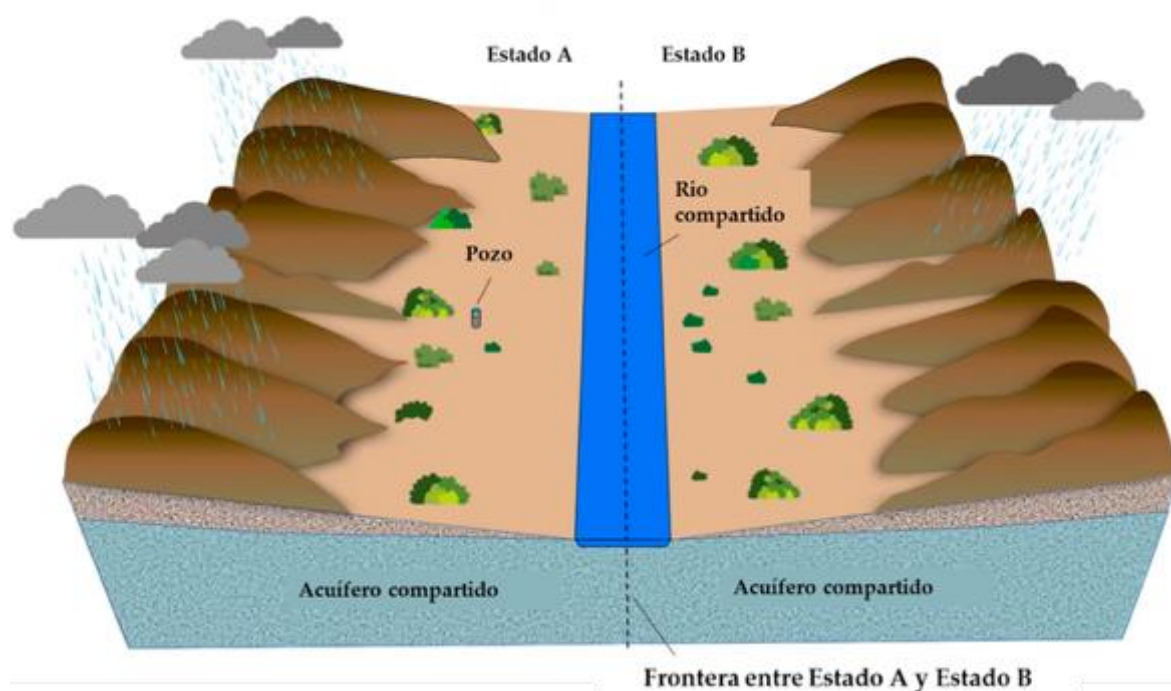


Figura 17 - Esta imagen está tomada de un [video](#) que muestra una animación de un acuífero transfronterizo hipotético conectado a un río efluente. Tanto el acuífero como el río son compartidos por los Estados A y B. Este video ilustrará cómo cambia el flujo de agua subterránea cuando el Estado A bombea de un pozo cerca de la frontera. El video está disponible al hacer clic en el enlace indicado por la flecha blanca en el cuadro rojo de esta leyenda.

Mientras la discusión hasta este punto aborda las posibles consecuencias transfronterizas en cuanto a la cantidad de agua, también podrían surgir problemas de calidad del agua. Un acuífero transfronterizo hidrológicamente vinculado a un río efluente contiguo podría generar preocupaciones negativas sobre la calidad del agua a través de la frontera. Un río efluente que fluye naturalmente y que biseca un acuífero no confinado impedirá que los contaminantes y otros rasgos negativos de un lado del acuífero crucen hacia el otro lado al atraerlos hacia el río. Así, si uno de los estados ribereños introduce contaminantes en el río (**Figura 18**), debido a la contribución de agua del acuífero hacia el río, el acuífero en el otro estado no se contaminaría. Por supuesto, el estado que introduce la contaminación sería responsable y potencialmente responsabilizado por la reparación por cualquier consecuencia en el río y hacia los ribereños que utilizan el río aguas abajo del punto de contaminación. De manera similar, si el Estado A introduce artificialmente contaminantes en el acuífero dentro de su propio territorio, esos contaminantes podrían ser arrastrados hacia el río y contaminarlo, ya que el río es efluente (**Figura 18**). Eso también podría resultar en responsabilidad por la remediación para el Estado A.



Figura 18 - Bajo condiciones naturales (sin bombeo) en el Modelo A con un río efluente (alimentado por el acuífero), la contaminación en la superficie terrestre ingresa al agua subterránea subyacente y migra hacia el río. La cara frontal de la imagen muestra el flujo de agua subterránea y la pluma de contaminación a lo largo de la sección transversal A1. El Estado B y los usuarios del río aguas abajo podrían tener un reclamo de responsabilidad contra el Estado A por las consecuencias de la contaminación en el río.

Basándonos en este ejemplo, asumimos que, después de que el Estado A contamina el acuífero en su lado de la frontera, el Estado B comienza a extraer agua subterránea dentro de su territorio a una tasa considerable, de tal manera que su área de influencia se extiende más allá de la frontera hacia el Estado A (**Figura 19**). A medida que el área de influencia del pozo del Estado B se expande más allá de la frontera, comienza a extraer agua subterránea contaminada de debajo del Estado A y provoca que esta migre a través de la frontera hacia el pozo de bombeo, contaminando así el acuífero en el Estado B. En este escenario, el Estado A podría ser considerado responsable de la contaminación del acuífero en el Estado B. Sin embargo, si se debe imponer responsabilidad por la reparación de los daños al Estado A por contaminar la parte del acuífero del Estado B dependería de hechos y circunstancias adicionales. Por ejemplo, si el Estado B conocía la contaminación en el Estado A antes de

bombear el acuífero, pero aun así continuó con sus intensas actividades de bombeo, podría ser considerado responsable por la migración; Por ejemplo, si el Estado B conocía la contaminación en el Estado A antes de bombear el acuífero, pero aún así continuaba con sus intensas actividades de bombeo, podría considerarse responsable de la migración; por lo tanto, no tendría ningún reclamo de responsabilidad por la reparación de daños contra el Estado A. Alternativamente, si el Estado A conocía sobre la contaminación artificial en su territorio y la probabilidad de que fluyera a través de la frontera en respuesta al bombeo en el Estado B, y si se encuentra que el Estado A no proporcionó ese conocimiento al Estado B de manera oportuna, el Estado A podría ser considerado responsable por parte o la totalidad del daño transfronterizo al Estado B. Asimismo, si se considera que el Estado A es responsable de acelerar o amplificar el flujo transfronterizo a través de alguna intervención, eso también podría resultar en un hallazgo de responsabilidad para el Estado A. En contraste, si se determina que el Estado B aceleró o amplificó el flujo transfronterizo a través de sus actividades, el Estado B podría ser considerado responsable por la migración transfronteriza de los contaminantes, lo que podría eximir al Estado A de toda responsabilidad relacionada con la contaminación.

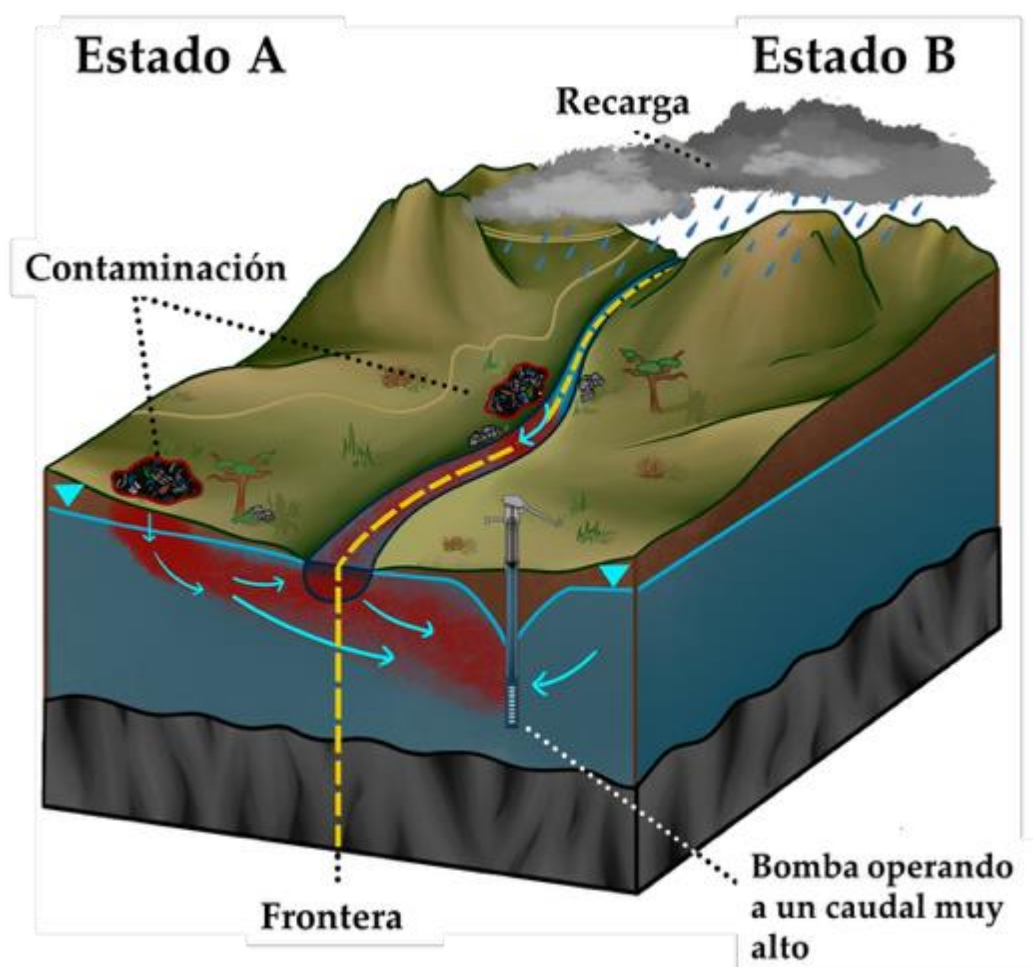


Figura 19 - El Estado B bombea a un caudal muy alto en el Modelo A con un río efluente; la contaminación en la superficie terrestre entra en las aguas subterráneas bajo el Estado A, y las aguas subterráneas contaminadas en el Estado A se descargan en el río. La cara frontal de la imagen muestra el flujo de agua subterránea y la pluma de contaminación a lo largo de la sección transversal A1. El área de influencia del pozo de bombeo del Estado B se extiende a través de la frontera hasta el Estado A, y las aguas subterráneas contaminadas son extraídas hacia el pozo del Estado B; también, algunas aguas subterráneas contaminadas se descargan en el río. La responsabilidad en este escenario depende no solo de las condiciones hidrológicas, sino también de circunstancias adicionales, como la información que un Estado proporcionó al otro. Por ejemplo, el Estado A podría ser responsable de las consecuencias de un río y un acuífero contaminados; sin embargo, si el Estado B conocía la contaminación antes de bombear, eso podría debilitar su reclamo. Por otro lado, si el Estado A no notificó al Estado B sobre la contaminación, eso podría fortalecer el reclamo del Estado B.

En un escenario algo similar pero distinto, consideremos una situación en la que se encuentran características negativas de forma natural en la sección del acuífero del Estado A, como arsénico o fluoruro nativos. Usando nuestro ejemplo en el Modelo A de un acuífero transfronterizo hídricamente vinculado a un río efluente y contiguo, esos contaminantes podrían ser arrastrados y contaminar el río. Al igual que en el ejemplo anterior, la responsabilidad y la obligación de reparar los daños dependerán de varios factores.

En el escenario más simple, en el que ambos estados no toman ninguna acción o solo realizan pocas acciones en relación con el acuífero, debido al origen natural de los contaminantes, el Estado A no sería responsable ante el Estado B o cualquier estado aguas

abajo por las consecuencias perjudiciales sufridas debido a la migración natural de ese contaminante hacia el río o hacia el segmento del acuífero del Estado B. Sin embargo, la responsabilidad y la posible obligación de reparar los daños podrían surgir si el Estado A realiza acciones que aceleren o amplifiquen ese flujo y, por lo tanto, causen daño al Estado B o a los ribereños aguas abajo.

En contraste, si el Estado B realiza alguna acción que acelere o amplifique esa migración, como bombear del acuífero dentro de su territorio, el Estado A no sería responsable por el daño resultante para el Estado B. Una posible excepción a este último escenario podría ocurrir si el Estado B no tiene conocimiento de los contaminantes naturales en el acuífero del Estado A, y el Estado A conoce su presencia y sabe que el bombeo del Estado B causaría la migración de los contaminantes, pero no proporciona esa información al Estado B de manera oportuna.

Si bien los escenarios presentados en esta discusión describen implicaciones transfronterizas que comienzan desde una línea base en la que un río contiguo y un acuífero hídricamente vinculado tienen una relación de ganancia (río efluente), las consecuencias transfronterizas también pueden surgir en casos con una línea base en la que el río pierde agua al acuífero (río influente). En tal ejemplo, las trayectorias de flujo del agua subterránea dentro del acuífero normalmente se moverían paralelas o alejadas de la frontera del río (**Figura 20**).

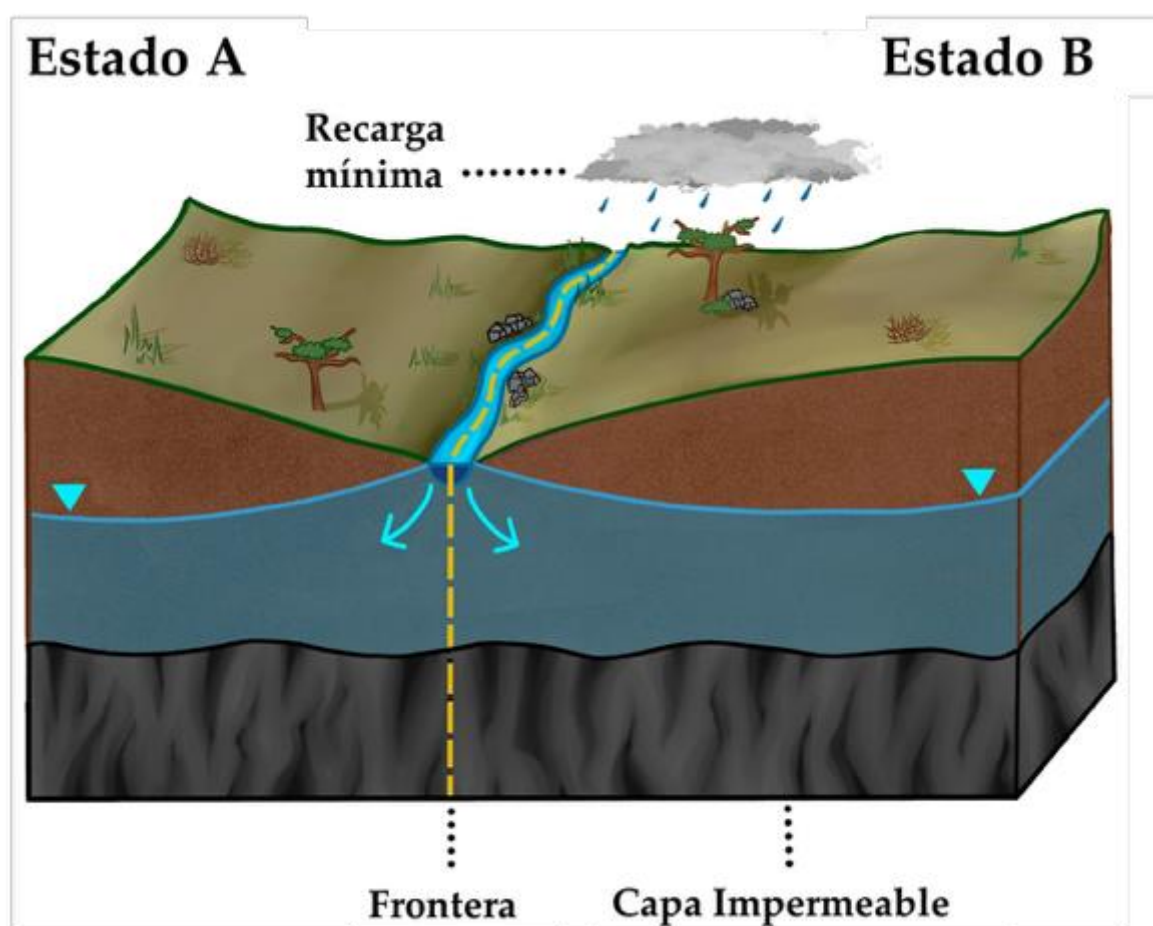


Figura 20 - Modelo A con un río influente y condiciones hidrológicas naturales (sin bombeo), mostrando el nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea a lo largo de la sección transversal A1.

En este caso, las actividades de extracción artificial dentro del Estado A no afectarían la sección del acuífero ubicada en el Estado B (**Figura 21**), siempre y cuando la extracción sea inferior a la capacidad natural del acuífero para reponerse. Si la extracción en el Estado A fuera excesiva, el impacto afectaría primero al río fronterizo al aumentar la relación de pérdida dentro del área de influencia del cono de depresión al atraer agua adicional del río, más allá de la infiltración natural, en dirección al pozo hasta que el nivel freático caiga por completo por debajo del lecho del río (**Figura 22**). Esa acción podría resultar en una consecuencia transfronteriza, ya que el Estado A reduciría el flujo y el volumen de agua en el curso de agua, lo cual se sentiría aguas abajo en ambos lados de la frontera. Si bien tal acción evidenciaría la responsabilidad del Estado A por el resultado, si este flujo desviado tiene un impacto significativo en la capacidad del Estado B para utilizar y beneficiarse de manera equitativa y razonable del agua del río, el Estado B podría tener un reclamo de responsabilidad contra el Estado A en relación con los daños causados.

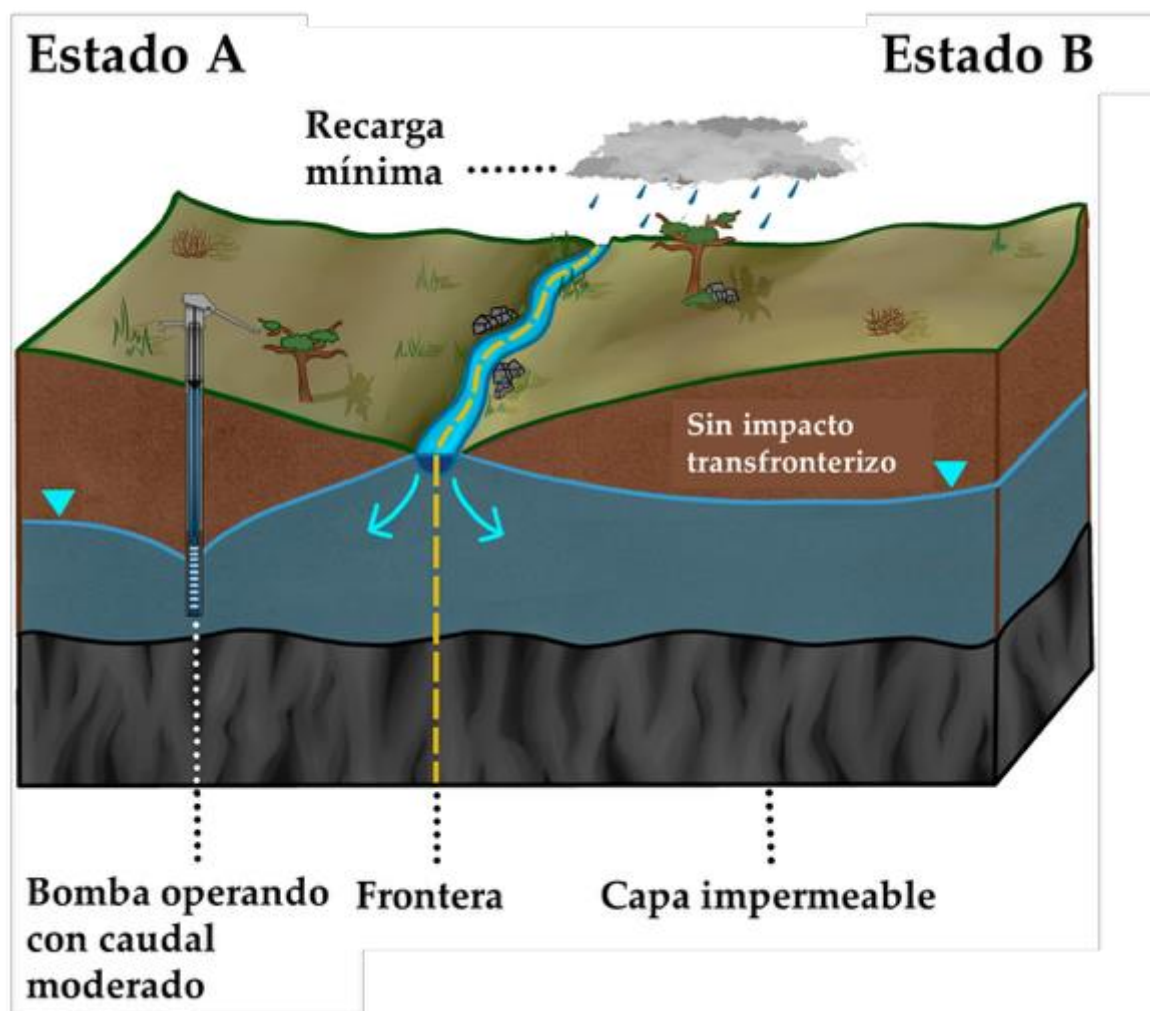


Figura 21 - El Estado A bombea con un caudal moderado en el Modelo A con un río influente. Sus actividades de bombeo superan la capacidad natural del acuífero para reabastecerse, produciendo la configuración de la capa freática y las direcciones del flujo de agua subterránea mostradas a lo largo de la sección transversal A1 en la cara frontal de esta imagen. El área de influencia del pozo de bombeo no alcanza el río, y el impacto en el flujo del río es mínimo. Por lo tanto, no hay impacto transfronterizo en el Estado B.

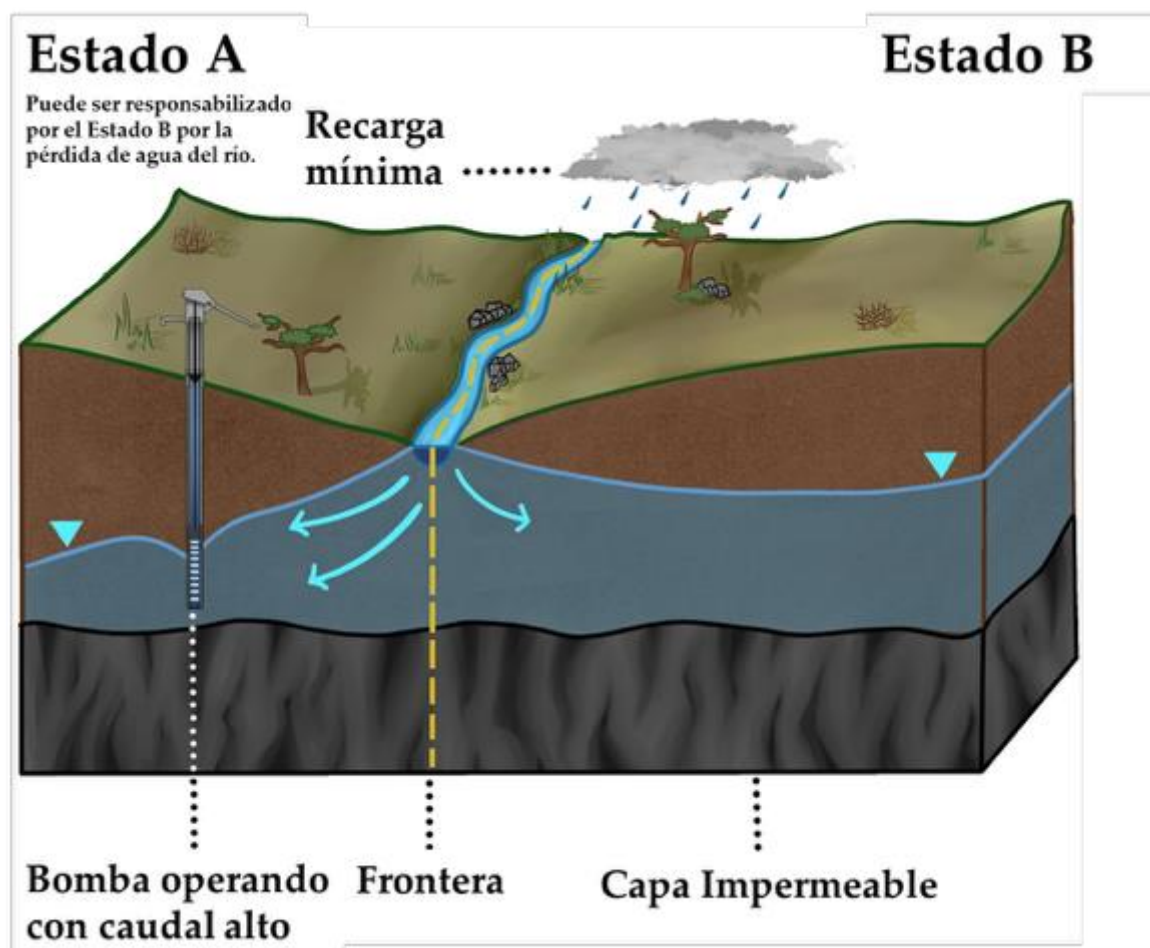


Figura 22 - El Estado A bombea con un caudal alto en el Modelo A con un río influente, produciendo la configuración de la tabla de agua y las direcciones de flujo de aguas subterráneas mostradas a lo largo de la sección transversal A1 en la cara frontal de esta imagen. El área de influencia del pozo de bombeo alcanza el río, aumentando el flujo de agua del río hacia el acuífero en el Estado A y reduciendo el flujo en el río. Si este flujo desviado tiene un impacto significativo en el uso del agua del río por parte del Estado B, el Estado B podría tener una reclamación de responsabilidad por la reparación de los daños contra el Estado A.

Además, si la extracción en el Estado A continuara aumentando, eventualmente el área de influencia que rodea el pozo de extracción del Estado A se extendería por debajo del río contiguo hacia el Estado B y primero atraerá agua del almacenamiento en la sección del acuífero ubicada dentro del Estado B, seguida de la captura de recarga del acuífero en el Estado B (**Figura 23**). Así, al igual que en el ejemplo inmediatamente anterior (**Figura 22**), en la medida en que el agotamiento del río priva al Estado B del uso y beneficio equitativos y razonables del agua del río, y en la medida en que la capacidad del Estado B para extraer, usar o disfrutar del agua subterránea dentro de su territorio se vea negativamente afectada, el Estado B podría tener un reclamo de responsabilidad por la reparación de daños contra el Estado A.

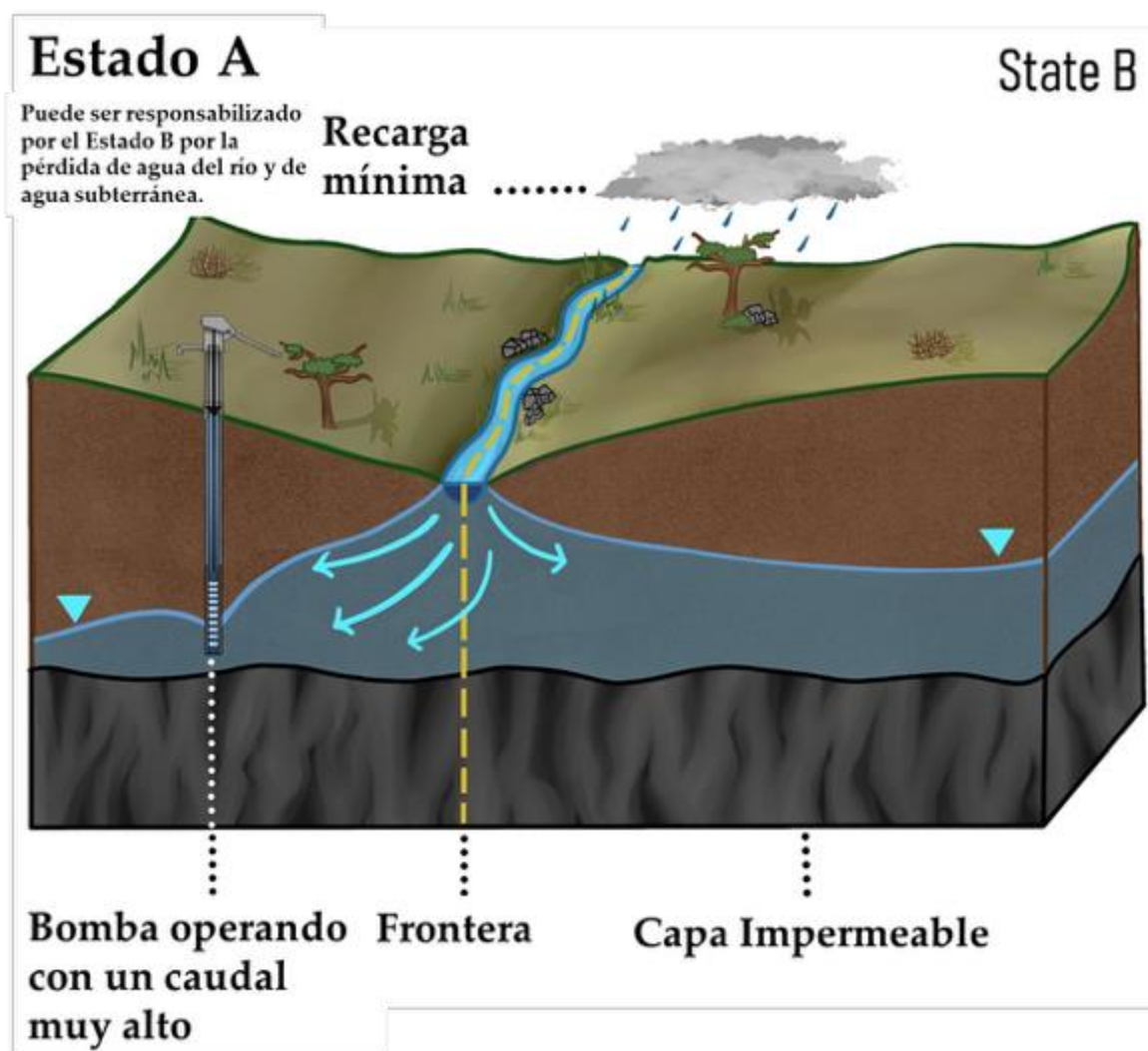


Figura 23 - El Estado A bombea con un caudal muy alto en el Modelo A con un río influente, produciendo la configuración del nivel freático y las direcciones de flujo de aguas subterráneas mostradas a lo largo de la sección transversal A1 en la cara frontal de esta imagen. El área de influencia del pozo de bombeo se extiende más allá del río hacia el Estado B, haciendo que el pozo extraiga agua de la parte del acuífero en el Estado B. Si esta disminución de las aguas subterráneas en el Estado B afecta significativamente el uso de las aguas subterráneas por parte del Estado B, el Estado B podría tener una reclamación de responsabilidad por la reparación de daños contra el Estado A por la pérdida de uso tanto del agua del río como del agua subterránea.

De manera similar, el potencial hidráulico y las trayectorias de flujo de un río influente y contiguo que divide a un acuífero no confinado podría servir como una barrera para los contaminantes y otras amenazas, impidiendo que fluyan de un lado del acuífero a través de la frontera política hacia el lado opuesto. Dado que las trayectorias de flujo de agua subterránea en las dos secciones del acuífero están distantes del río que lo atraviesa, cualquier contaminación subterránea encontrada en el Estado A es poco probable que impacte el acuífero en el Estado B. Sin embargo, los contaminantes introducidos u originados en un río influente podrían infiltrarse fácilmente en el acuífero en ambos lados del río, lo que agravaría las implicaciones transfronterizas tanto a través del río como del acuífero (**Figura 24**). Si se considerara que el Estado A es responsable de la contaminación del río, posiblemente será también responsable por la reparación de daños causados por la

contaminación resultante de las secciones del acuífero hidrológicamente conectadas al Estado B.

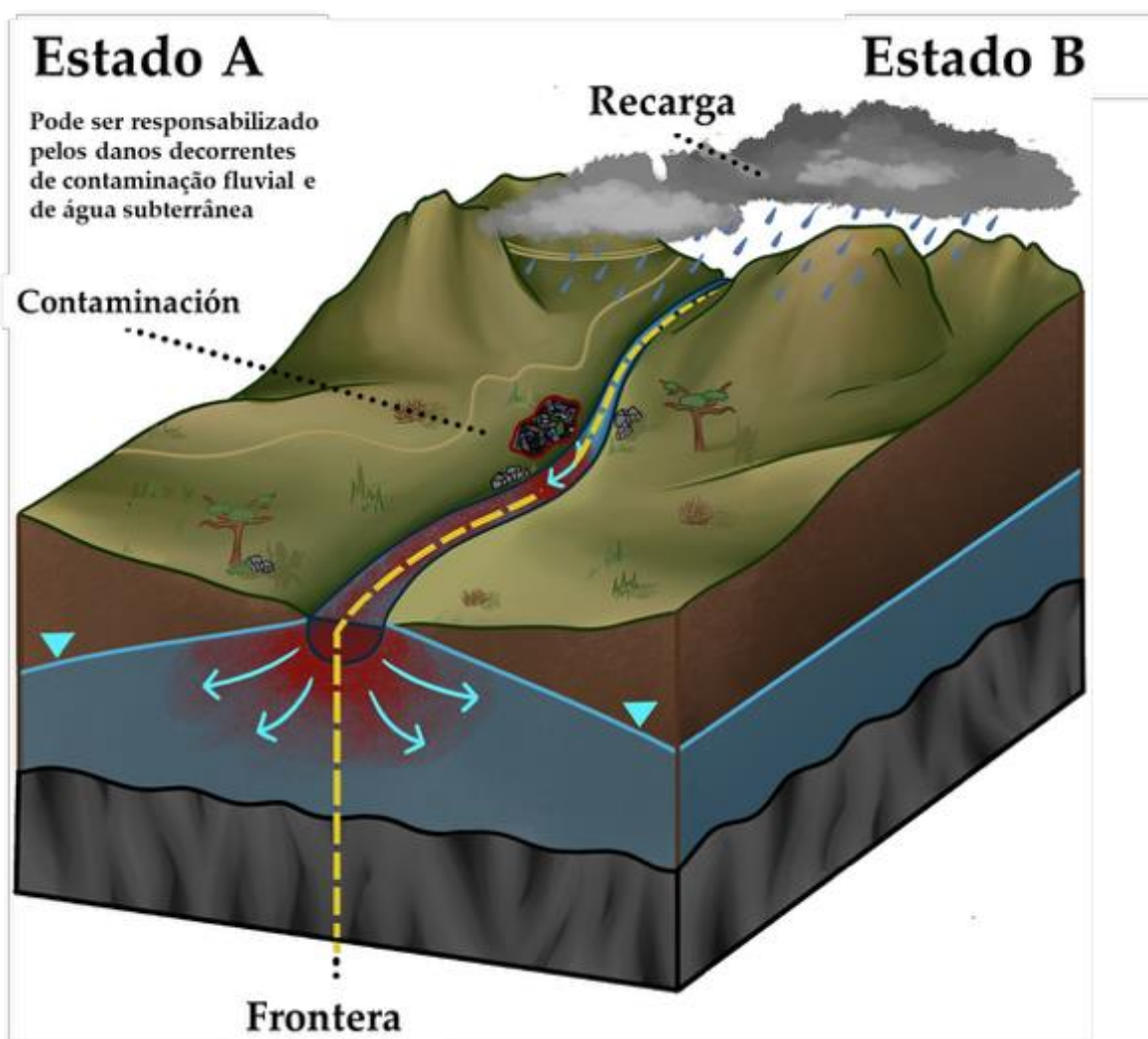


Figura 24 - En condiciones naturales (sin bombeo) en el Modelo A con un río influente, la contaminación introducida directamente en el río en el Estado A migra posteriormente a través del lecho del río hacia el acuífero. El flujo de agua subterránea y la pluma de contaminación se muestran a lo largo de la sección transversal A1 en la cara frontal de esta imagen. Esto crea una base para la responsabilidad por reparación de daños del Estado A hacia el Estado B y los usuarios del río aguas abajo por las consecuencias del río contaminado, así como para el Estado B basado en el impacto de la contaminación en el acuífero en su lado de la frontera.

Finalmente, si el Estado A fue el responsable de contaminar el río, y la extracción de agua subterránea en el Estado B excedió la tasa de recarga natural del acuífero, el cono de depresión podría eventualmente extenderse hasta el río influente, aumentando así la infiltración de agua contaminada del río en la sección del acuífero perteneciente al Estado B (**Figura 25**). Sin embargo, si el Estado A contamina el acuífero dentro de su territorio, dicha contaminación no fluirá hacia el Estado B a menos que el Estado B comience a bombear intensamente el acuífero, haciendo que su área de influencia se extienda hasta a la jurisdicción del Estado A, y que el flujo natural del agua subterránea en el Estado A

dentro del área de influencia cambie de dirección y comience a fluir hacia el pozo del Estado B (**Figura 26**). En tal caso, si bien el Estado A sería responsable de la contaminación inicial, el Estado B sería responsable de causar que esa contaminación migrara más fácilmente hacia el Estado B. Por lo tanto, es poco probable que el Estado A sea responsable ante el Estado B, a menos que se establecieran otros factores atenuantes, incluyendo algunos de los mencionados anteriormente, como por ejemplo, el conocimiento y los esfuerzos de notificación del Estado A, y la conducta del Estado B aun teniendo el conocimiento.



Figura 25 - El Estado B bombea a un caudal alto en el Modelo A con un río influente, y la contaminación se introduce directamente en el río en el Estado A. Esta contaminación migra a través del lecho del río hacia el acuífero. El flujo de agua subterránea y la pluma de contaminación se muestran a lo largo de la sección transversal A1 en la cara frontal de esta imagen. El área de influencia del pozo de bombeo del Estado B alcanza el río, aumentando el flujo de agua del río hacia el acuífero en el Estado B y reduciendo el flujo en el río. Como resultado, se intensifica el flujo de contaminación del río hacia la parte del acuífero del Estado B. Esto crea una base para la responsabilidad por reparación de daños del Estado B y los usuarios del río aguas abajo contra el Estado A por las consecuencias del río contaminado. La responsabilidad de reparación de daños por el impacto en el acuífero del lado del Estado B de la frontera depende no solo de las condiciones hidrológicas, sino también de circunstancias adicionales, como el conocimiento proporcionado por un Estado al otro. Por ejemplo, el Estado A puede ser responsable de las consecuencias de un río y un acuífero contaminados; sin embargo, si el Estado B sabía sobre la contaminación antes de bombear, eso podría debilitar su reclamación. Por otro lado, si el Estado A no notificó al Estado B sobre la contaminación, eso podría fortalecer la reclamación del Estado B.

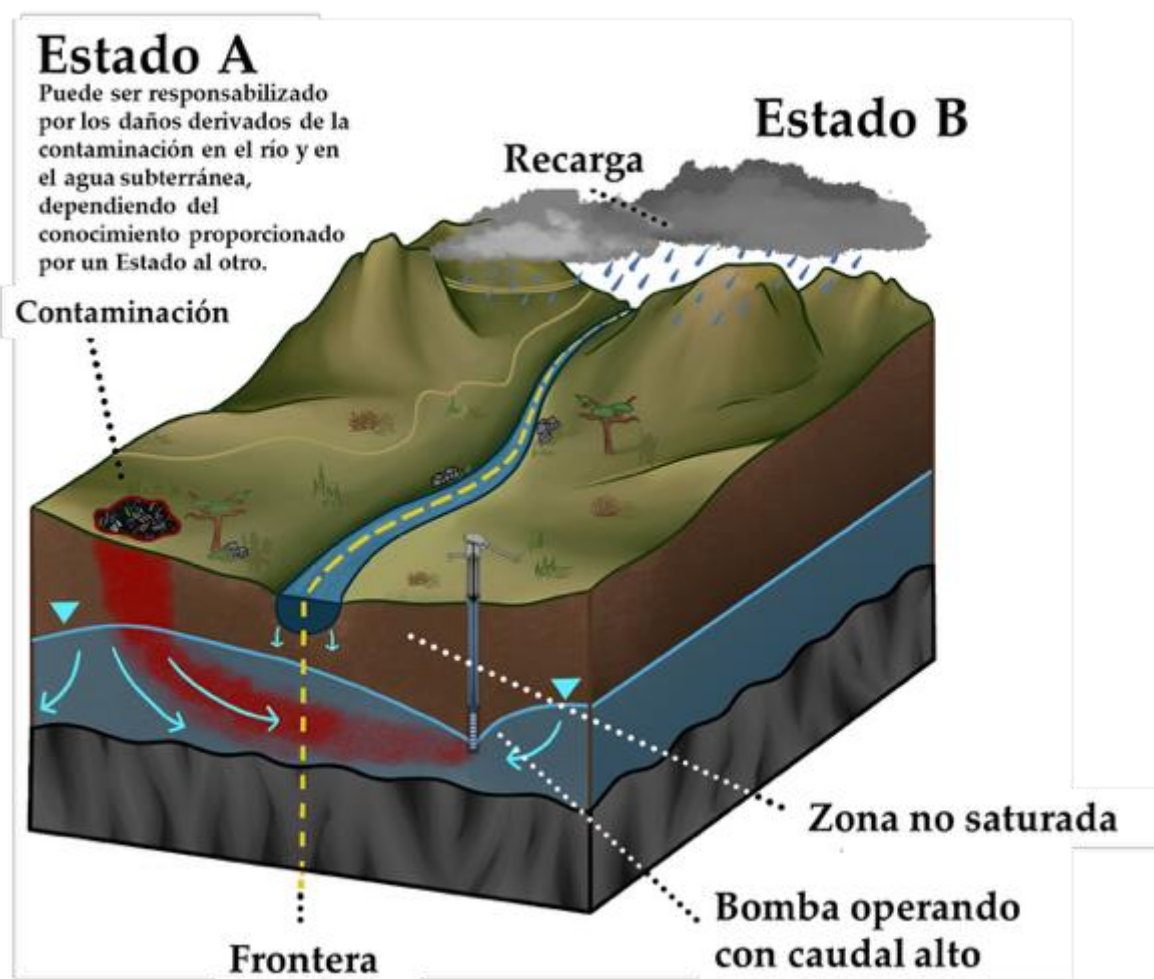


Figura 26 - El Estado B bombea a una tasa muy alta en el Modelo A con un río influente, en condiciones de agua subterránea contaminada en el Estado A. El flujo de agua subterránea y la pluma de contaminación se muestran a lo largo de la sección transversal A1 en la cara frontal de esta imagen. Debido al bombeo en el Estado B, el nivel freático cayó por debajo del lecho del río y el agua del río se infiltró a través de la zona no saturada para recargar el acuífero, a una tasa mucho menor que la tasa de bombeo. Dado que el área de influencia del pozo de bombeo del Estado B se extiende más allá del río hacia el Estado A, el pozo extrae la contaminación de la parte del acuífero del Estado A hacia el pozo del Estado B. La responsabilidad de reparación de daños por el impacto en el acuífero debajo del Estado B depende no solo de las condiciones hidrológicas, sino también de circunstancias adicionales, como el conocimiento proporcionado por un Estado al otro. Por ejemplo, si el Estado B sabía sobre la contaminación del agua subterránea en el Estado A antes de comenzar a bombear del acuífero a un caudal alto, su reclamación de responsabilidad contra el Estado A por la contaminación del pozo del Estado B se verá debilitada. Sin embargo, no está claro si el Estado A tenía la obligación de informar al Estado B sobre la contaminación del agua subterránea, ya que el flujo natural del acuífero, antes de las actividades de bombeo del Estado B, era en dirección opuesta al Estado B. Si el Estado B puede establecer que el Estado A tenía esa obligación de notificación, la reclamación del Estado B contra el Estado A se verá fortalecida.

Ejemplos de acuíferos no confinados que atraviesan una frontera política internacional y están hidrológicamente vinculados con un río transfronterizo que biseca el acuífero incluyen los acuíferos *Red Light Draw*, *Hueco Bolson* y *Rio Grande*, que se encuentran debajo de la frontera entre EE. UU. y México (**Figura 27**). Los tres acuíferos son no confinados, están directamente conectados al río Grande y fluyen a lo largo de la frontera entre el estado de Texas en EE. UU. y el estado de Chihuahua en México (Hibbs et al., 1998; Comisión Internacional de Fronteras y Aguas (IBWC), 1998).



Figura 27 - Mapa de la extensión geográfica de los acuíferos transfronterizos no confinados que se encuentran bajo la frontera entre los EE. UU. y México: el Valle de Juárez-Hueco Bolson (naranja), Conejos Medanos-Mesilla Bolson (azul claro), y Red Light Draw Bolson (púrpura), y los acuíferos del Río Grande. Todos estos acuíferos son no confinados y están directamente conectados al Río Grande (reproducido de Rodríguez, 2022a).

Otro ejemplo es el acuífero aluvial del Danubio, que fluye por debajo y está conectado al río Danubio—el cauce que forma una frontera entre Hungría y Eslovaquia, Croacia y Serbia, y Bulgaria y Rumanía—y atraviesa otras múltiples fronteras nacionales en Europa (Mijatovic, 1998). Un ejemplo similar—pero en un contexto subnacional—es el acuífero aluvial no confinado del Misisipi en EE. UU. (**Figura 28**). Este acuífero, que se encuentra debajo de los estados de Arkansas, Luisiana y Misisipi, está hidrológicamente conectado al río Misisipi, que forma la frontera entre los estados de Arkansas y Misisipi, y más aguas abajo entre Luisiana y Misisipi (Renken, 1998).

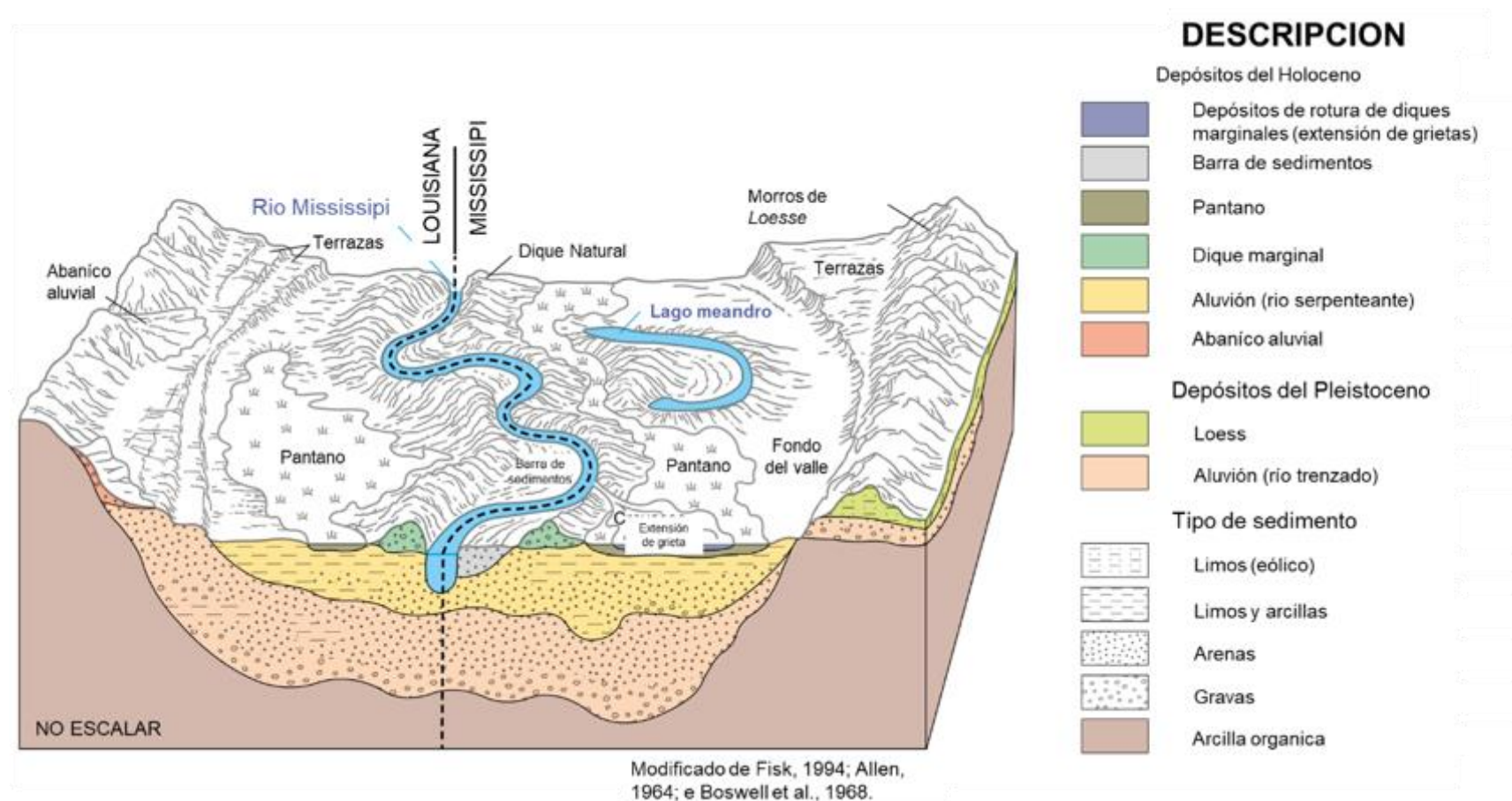


Figura 28 - Diagrama de bloques del acuífero aluvial de Mississippi, que subyace a los estados de Arkansas, Luisiana y Mississippi en EE. UU. Este acuífero está conectado hidrológicamente con el río Mississippi, que forma la frontera entre los estados de Arkansas y Mississippi y, más abajo, entre Luisiana y Mississippi (reproducido de Renken, 1998).

4.2 Modelo B: Acuífero Libre Transfronterizo Hidrológicamente Vinculado a un Río Sucesivo Transfronterizo

El escenario ilustrado en el Modelo B (**Figura 29**) es similar al encontrado en el Modelo A en que describe un acuífero libre intersectado por una frontera política y atravesado por un río transfronterizo. La diferencia clave, sin embargo, es que el río en el Modelo B es un *río sucesivo*—un río que fluye a través de una frontera desde una jurisdicción política hacia otra—en lugar de un río contiguo. En otras palabras, la frontera política divide tanto a los acuíferos como al río hidrológicamente conectado. En este modelo, el Estado A está posicionado como el ribereño superior tanto para el acuífero como para el río.

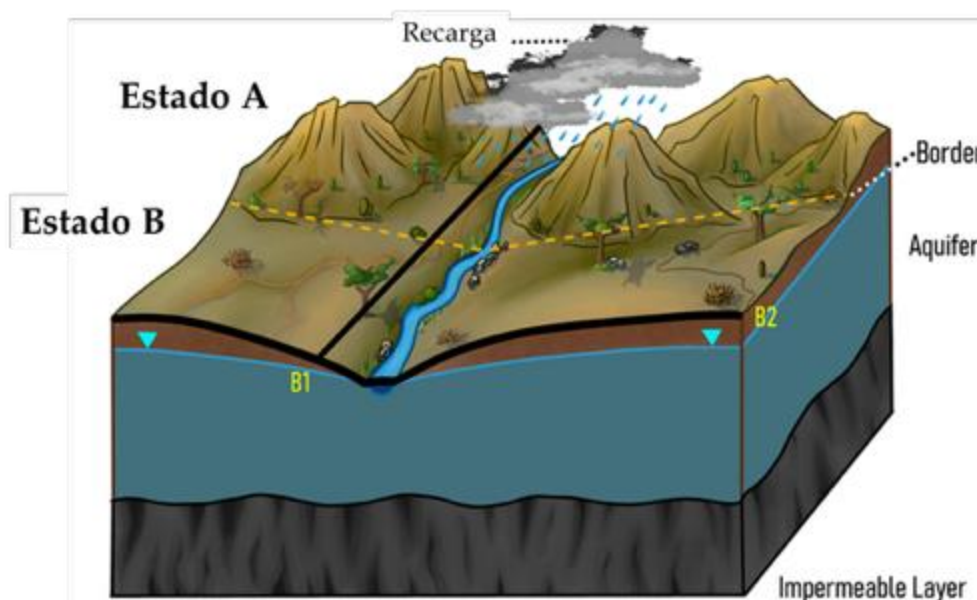


Figura 29 - Modelo B: Un acuífero no confinado atravesado por un límite político y conectado hidrológicamente con un río transfronterizo sucesivo. Las líneas negras etiquetadas como B1 y B2 indican la ubicación de las secciones transversales que corren paralelas y perpendiculares al río, respectivamente. Se hace referencia a B1 y B2 en los diagramas siguientes.

Como se muestra en el Modelo B, el agua tanto en el acuífero libre como en el río hidrológicamente conectado fluye en gran medida en relación con la pendiente y la gravedad que, en condiciones naturales, sería desde el Estado A hacia el Estado B (**Figura 30**).

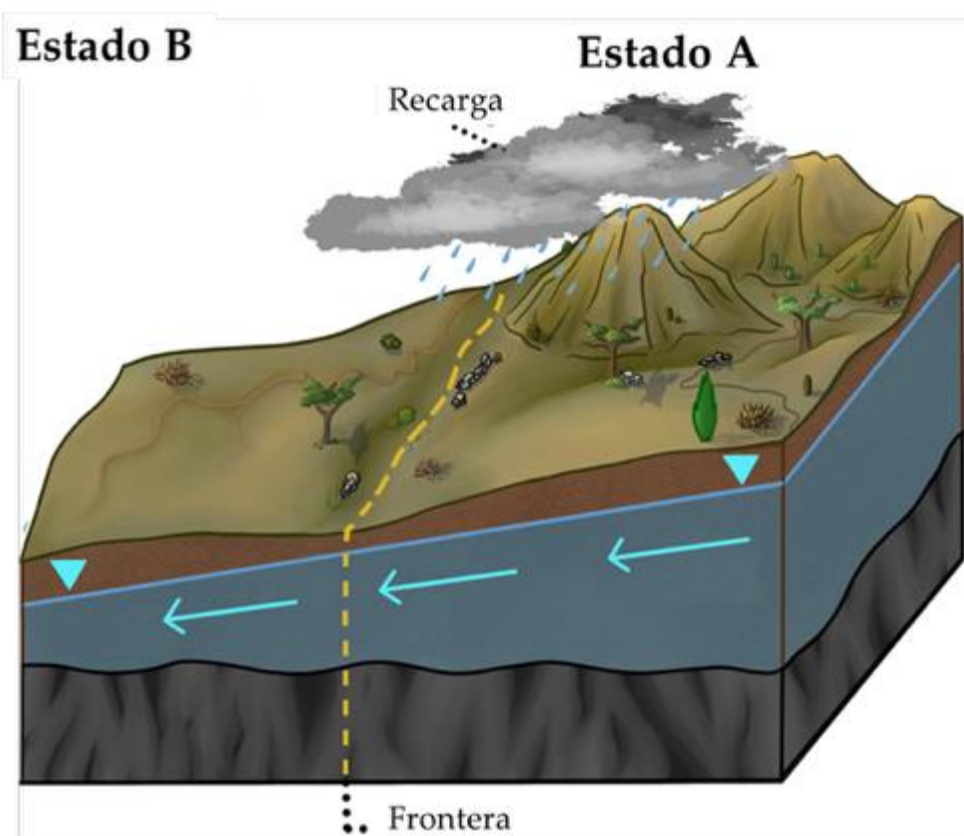


Figura 30 - Flujo a lo largo de la sección transversal B1 del Modelo B en condiciones hidrológicas naturales (sin bombeo), que muestra las direcciones del flujo del nivel freático y del agua subterránea. El agua subterránea fluye del Estado A al Estado B.

En este caso son más las ocasiones en las que el Estado A podría causar impactos negativos sobre el Estado B. Por el contrario, cualquier extracción artificial de agua del río o del acuífero— o la contaminación de esos cuerpos de agua—en el Estado B es poco probable que afecte al Estado A. Una excepción es si el Estado B instala pozos a lo largo de su frontera con el Estado A y bombea excesivamente el acuífero en la medida en que acelera o aumenta el flujo natural, privando así al Estado A de utilizarlo y reduciendo los niveles de agua en el Estado A hasta el punto en que compromete la viabilidad económica del bombeo (**Figura 31**). Sin embargo, si bien el Estado B podría ser responsable de privar al Estado A de algunas aguas subterráneas, la desposesión de aguas subterráneas probablemente tendría que ser sustancial, de modo que resulte en un daño significativo al Estado A, para ser procesable según la ley dado que en la **Figura 30**, el agua subterránea parece originarse en gran medida en el Estado A.



Figura 31 - Flujo a lo largo de la sección transversal B1 del Modelo B con el Estado B bombeando a un ritmo alto, lo que reduce los niveles de agua subterránea en el Estado A. El bombeo hace que el flujo de agua subterránea a través de la frontera del Estado A al Estado B se acelere dentro del área de influencia del pozo. El Estado A puede tener una reclamación de responsabilidad contra el Estado B por la pérdida de uso del agua subterránea y la ventaja económica del bombeo, pero sólo si la pérdida resulta en un daño significativo para el Estado A.

Por el contrario, cualquier extracción artificial de agua del río o del acuífero en el Estado A podría tener un impacto negativo en el Estado B. Si, y en que medida, la conducta del Estado A está sujeta a responsabilidad por reparación de daños dependería de factores tales como si la relación del río con el acuífero (se está ganando o perdiendo agua), o el volumen de agua extraída y la extensión del impacto que estas circunstancias tienen en el Estado B.

En cuanto a la ganancia o pérdida de agua del río, si el río mantiene una relación ganadora con el acuífero a lo largo de todo su curso —cómo se sugiere en el Modelo B— cualquier desvío del río en el Estado A afectará el flujo de agua del río aguas abajo en el Estado B. No obstante, tendrá poco efecto sobre el acuífero en el Estado B, excepto cuando el caudal del río se reduzca tanto que aumente el flujo de agua subterránea hacia el río en el Estado B debido a la mayor diferencia de carga entre el acuífero y el río (es decir, la diferencia entre la elevación del nivel freático en el acuífero y la elevación de la superficie del agua en el río).

Por el contrario, cualquier extracción del acuífero en el Estado A podría tener un impacto en el flujo de agua transfronterizo tanto en el río como en el acuífero. Si el pozo de

bombeo se instala cerca del río, podría reducir el volumen de agua que fluye desde el acuífero hacia el río y aguas abajo hacia el Estado B. Cuanto más lejos del río ocurra la extracción de agua subterránea, menor será el impacto sobre el caudal del río en esta relación de ganancia.

Otro ejemplo de la mayor probabilidad de que el Estado A tenga un impacto negativo en el Estado B surge cuando el Estado A instala un pozo en las proximidades de su frontera con el Estado B (**Figura 32**). Si bien esto podría reducir el flujo natural de agua subterránea hacia el Estado B, si el bombeo fuera lo suficientemente fuerte, el Estado A podría en realidad revertir el flujo natural de agua subterránea dentro del cono de depresión haciendo que fluya de regreso del Estado B hacia el Estado A hacia el pozo (**Figura 33**). Sin embargo, los efectos de dicho bombeo serían localizados y limitados al área de influencia del pozo y no afectarían el flujo de agua subterránea en otras zonas a lo largo de la frontera.

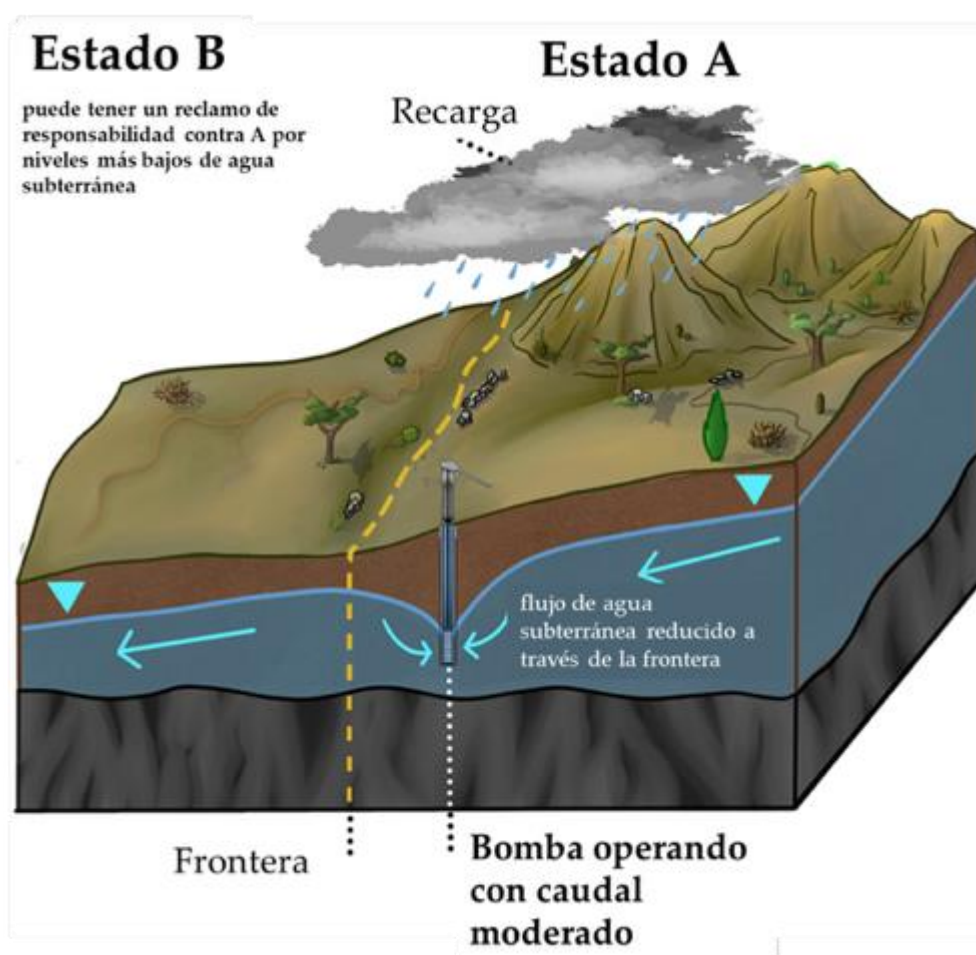


Figura 32 - Flujo a lo largo de la sección transversal B1 del Modelo B con el Estado A bombeando a un caudal moderado, bajando el nivel freático. El bombeo reduce el flujo de agua subterránea a través de la frontera del Estado A al Estado B dentro del área de influencia del pozo. El Estado B tiene un posible reclamo de responsabilidad por reparación de daños por la pérdida de uso de aguas subterráneas si la pérdida resulta en un daño significativo al Estado B.

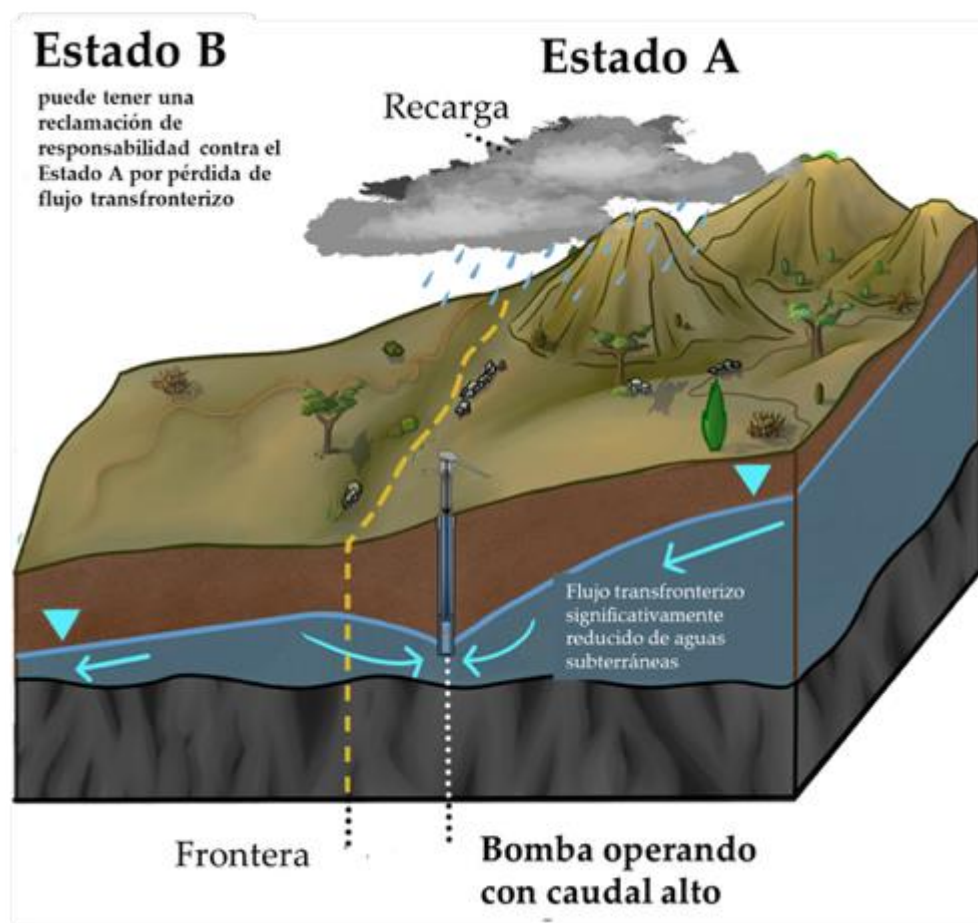


Figura 33 - Flujo a lo largo de la sección transversal B1 del Modelo B con el Estado A bombeando a un caudal alto, bajando el nivel freático e invirtiendo la dirección del flujo del agua subterránea dentro del cono de depresión. El Estado B tiene un posible reclamo de responsabilidad por reparación de daños por la pérdida de uso de agua subterránea y la ventaja económica del bombeo si la pérdida resulta en un daño significativo para el Estado B.

El escenario representado en la **Figura 33** ocurrió a lo largo de la frontera entre México y Estados Unidos en los estados de Sonora, México, y Arizona, Estados Unidos. A fines de la década de 1960, México instaló un campo de pozos justo al sur de la frontera, cerca de San Luis, en el extremo noroeste del estado mexicano de Sonora. Como resultado de las actividades de bombeo de México, el agua subterránea que fluía naturalmente hacia el norte en dirección a los Estados Unidos invirtió su dirección dentro del área de influencia del campo de pozos y comenzó a fluir hacia los pozos de México (**Figura 34**). La situación generó tensiones entre los dos acuíferos ribereños y requirió negociaciones (Mumme, 1988).

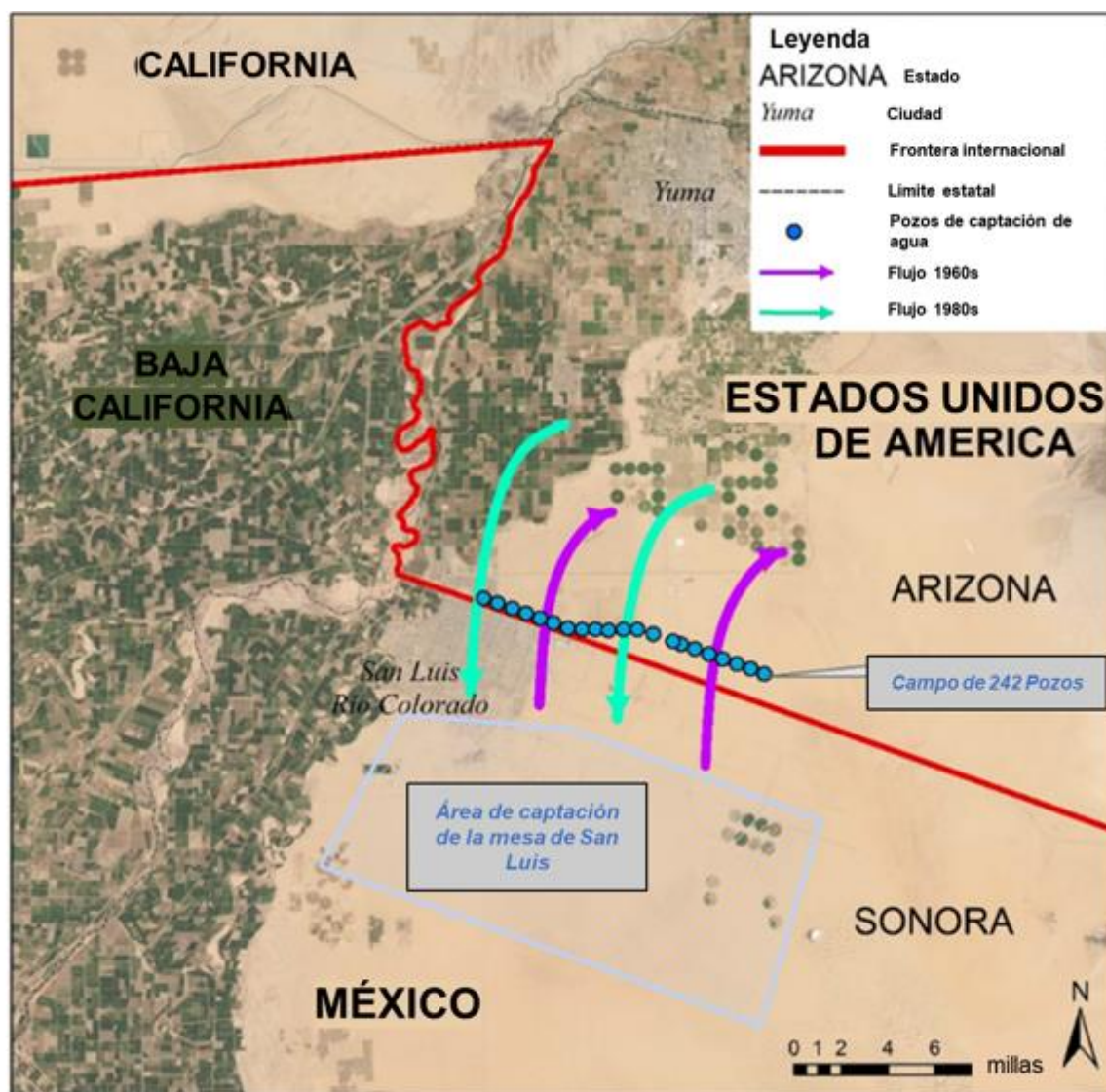


Figura 34 - Mapa que muestra la zona fronteriza entre México y Estados Unidos donde, a fines de la década de 1960, México instaló pozos justo al sur de la frontera, cerca de la ciudad de San Luis, que invirtieron el flujo natural del agua subterránea para que fluyera hacia el sur, en dirección hacia México (reproducido de Rodríguez, 2022b). Tras las negociaciones del Acta 242 entre las secciones mexicana y estadounidense de la Comisión Internacional de Límites y Aguas, Estados Unidos instaló su propio campo de pozos a lo largo de la frontera y los dos países restringieron el bombeo dentro de cinco millas de la frontera (Mumme, 1988).

Con respecto a los impactos en la calidad del agua, debido a que la relación acuifero-río en el Modelo B se caracteriza por ser un río efluente, cualquier contaminación del río en el Estado A afectaría el uso del agua del río aguas abajo por parte del Estado B, pero no tendría impacto en el acuífero en el Estado B (**Figura 35**).



Figura 35 - En condiciones naturales (sin bombeo) en el Modelo B con un río efluente, el Estado A ha contaminado el río. Las direcciones del flujo de agua subterránea se muestran a lo largo de la sección transversal B2 en la cara frontal de esta imagen. El agua subterránea en el Estado B permanece sin contaminarse debido a la condición de río efluente, pero el río en el Estado B si está contaminado. El Estado B tiene una posible reclamación de responsabilidad por reparación de daños causados en virtud del río contaminado.

Sin embargo, cualquier contaminación del acuífero en el Estado A podría tener un impacto negativo tanto en el río como en el acuífero en el Estado B, ya que los contaminantes llegarían al Estado B tanto a través del río efluente como del flujo de agua subterránea a través de la frontera. Por el contrario, si el río fuese influente (que pierde agua a lo largo de su curso), cualquier contaminación u otras características negativas que se originen en el río en el Estado A se transportarían río abajo y contaminarían el río, así como el acuífero en ambos lados del río en los Estados A y B (**Figura 36**).



Figura 36 - En condiciones naturales (sin bombeo) en el Modelo B con un río influente, el Estado A ha contaminado el río. Las direcciones del flujo de agua subterránea a lo largo de la sección transversal B2 en el Modelo B se muestran en la cara frontal de esta imagen. Es probable que tanto el río como el agua subterránea en el Estado B estén contaminados debido a la mala condición del río influente. El Estado B tiene una posible reclamación de responsabilidad por reparación de daños debido a las consecuencias de la contaminación del río y del acuífero.

A nivel internacional, el acuífero *Abbotsford-Sumas* (**Figura 37**) es un ejemplo de un acuífero libre atravesado por una frontera política y conectado hidrológicamente con un río transfronterizo sucesivo. Este acuífero atraviesa la frontera entre la provincia de Columbia Británica en Canadá y el estado de Washington en los EE. UU. Está conectado directamente con el río *Sumas*, y los arroyos *Bertrand* y *Fishtrap*, que fluyen desde Canadá hacia los EE. UU. (Ministerio de Medio Ambiente de Columbia Británica, n.d.).

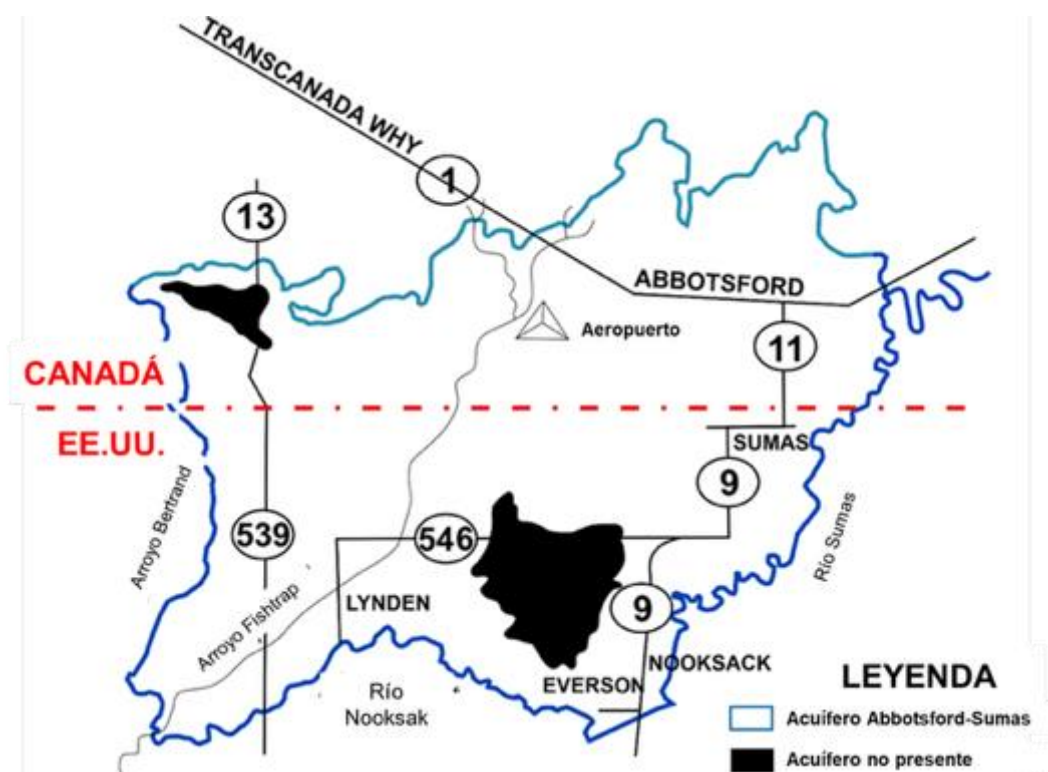


Figura 37 - Mapa de la extensión geográfica del acuífero Abbotsford-Sumas, un acuífero no confinado atravesado por una frontera política internacional y vinculado hidrológicamente con un río transfronterizo sucesivo. Este acuífero atraviesa la frontera entre la provincia de Columbia Británica en Canadá y el estado de Washington en EE. UU. y está conectado hidrológicamente con el río Sumas, y los arroyos Bertrand y Fishtrap, que fluyen desde Canadá hacia EE. UU. Los óvalos numerados indican los números de las rutas para las carreteras que se muestran como líneas negras. (modificado del Ministerio de Medio Ambiente de Columbia Británica, s.f.)

Otros dos ejemplos incluyen el acuífero Mures/Maros subyacente a Hungría y Rumania, que está conectado hidrológicamente al río Mures/Maros suprayacente, un afluente del río Tisza, que desemboca en el río Danubio (Comisión Europea, 2007), y el acuífero predominantemente no confinado de la cuenca de San Pedro (**Figura 38**) que atraviesa la frontera entre el norte de Sonora en México y el sur de Arizona en los EE. UU. y está vinculado hidrológicamente al río San Pedro, que fluye hacia el norte hacia los EE. UU. y se fusiona con el río Gila, un importante afluente del río Colorado (Arias, 2000).



Figura 38 - Mapa de la extensión geográfica del acuífero transfronterizo de la Cuenca de Pedro. Este acuífero predominantemente libre atraviesa la frontera entre el norte de Sonora en México y el sur de Arizona en Estados Unidos y está vinculado hidrológicamente al río San Pedro, que fluye hacia el norte hacia Estados Unidos y se fusiona con el río Gila, un afluente del río Colorado (reproducido de Rodríguez, 2022c).

A nivel subnacional, el acuífero aluvial del río Canadian (**Figura 39**) es un ejemplo de un acuífero no confinado que atraviesa múltiples fronteras interestatales dentro de los EE. UU. y está vinculado hidrológicamente con un río transfronterizo sucesivo. El río se origina en las montañas Sangre de Cristo en el sur de Colorado, fluye hacia el sureste a través de la frontera hacia Nuevo México y luego hacia el este hacia Texas, Oklahoma y Arkansas antes de desembocar en el río Arkansas (Ellis et al., 2017). Si bien el acuífero aluvial conectado al río Canadian no es homogéneo a lo largo de toda la longitud en la que está conectado a este río, atraviesa por debajo de las fronteras Texas-Oklahoma y Oklahoma-Arkansas (Ryder, 1996; Oklahoma Water Resources Board, 2012a; Oklahoma Water Resources Board, 2012b).



Figura 39 - Mapa de la cuenca de drenaje del río Canadian, que tiene un acuífero aluvial conectado al río que atraviesa las fronteras de Texas-Oklahoma y Oklahoma-Arkansas ("Mapa de la cuenca del río Canadian", 2022).

4.3 Modelo C: Acuífero Transfronterizo Libre Hidrológicamente Vinculado A Un Río Doméstico

Al igual que en los dos primeros modelos, el modelo C (**Figura 40**) representa un acuífero no confinado que está atravesado por una frontera política y está vinculado hidrológicamente a un río que divide el acuífero en dos. A diferencia de los dos primeros modelos, el río en este ejemplo no fluye a través de ninguna frontera ni a lo largo de ella; más bien, el río es completamente doméstico dentro del territorio de una de las jurisdicciones (en este caso, el Estado B).

Como resultado, una característica clave de este modelo es que el carácter transfronterizo de este ejemplo de acuífero-río se encuentra enteramente en el acuífero. Esta característica es importante porque las implicaciones transfronterizas de este modelo dependen únicamente del flujo de agua subterránea dentro del acuífero. Esto no quiere decir que el río en este modelo sea insignificante. Al contrario, el río es importante en la medida que influye en el flujo de agua del acuífero, lo que depende en gran medida de si tiene una relación de ganancia o pérdida con el acuífero.

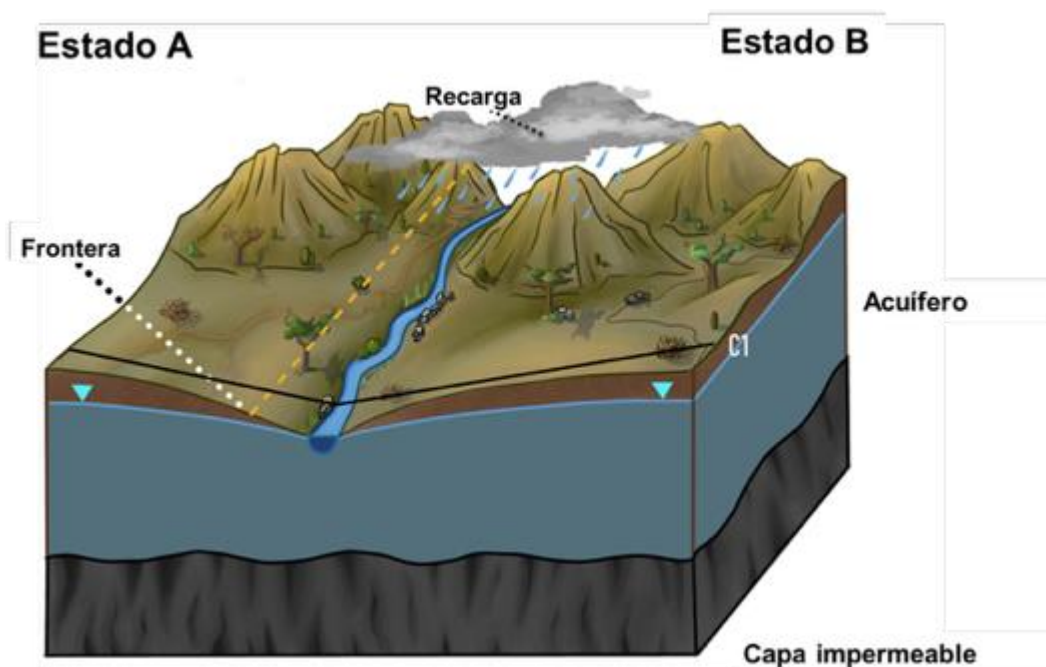


Figura 40 - Modelo C: Un acuífero no confinado que fluye a través de una frontera política y está conectado hidrológicamente a un río que fluye enteramente dentro del territorio de una de las jurisdicciones. La línea negra etiquetada como C1 indica la ubicación de la sección transversal a la que se hace referencia en los diagramas siguientes.

En la **Figura 41**, el nivel freático se inclina hacia el río, por lo que el Modelo C sugiere una relación de ganancia entre el acuífero y el río. Esto indica que, en un contexto transfronterizo, el agua subterránea se mueve naturalmente del Estado A al Estado B y, finalmente, hacia el río doméstico del Estado B (**Figura 41**).

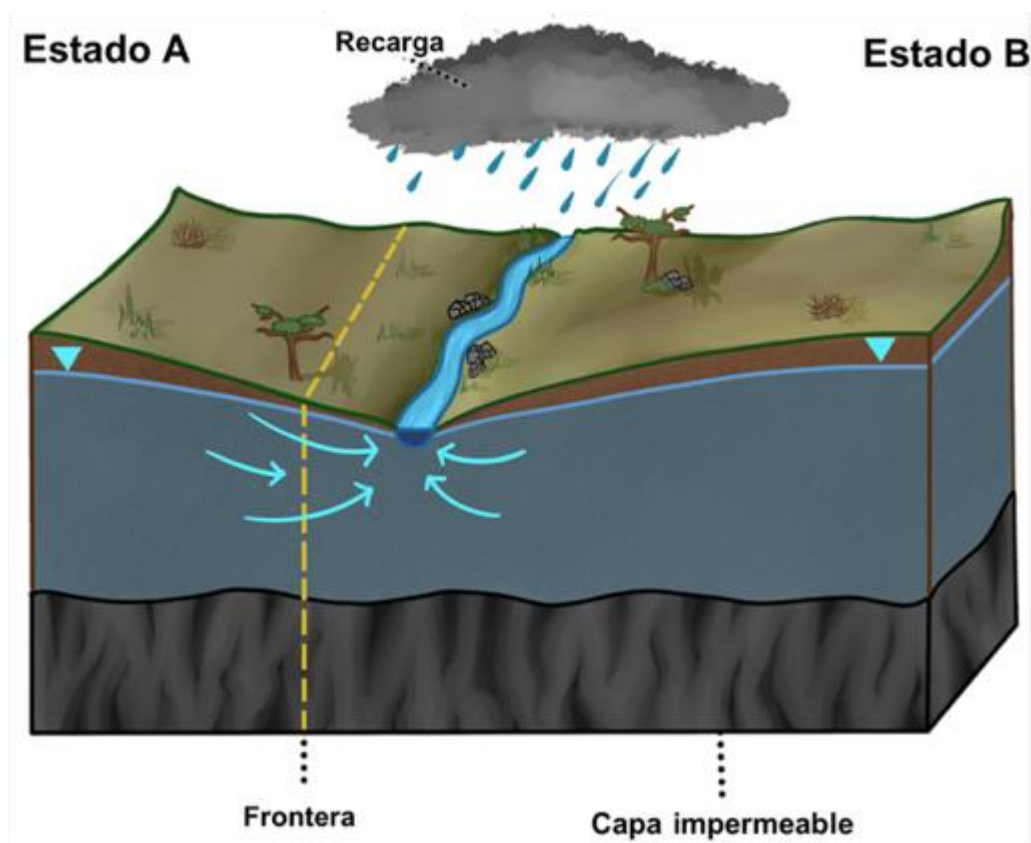


Figura 41 - Modelo C con un río ganando y condiciones hidrológicas naturales (sin bombeo). Las direcciones del flujo del nivel freático y del agua subterránea se muestran a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. El sistema de aguas subterráneas se recarga con las precipitaciones que caen sobre la superficie terrestre y todas las descargas van al río en el Estado B. Las aguas subterráneas fluyen del Estado A al Estado B.

Si el Estado A extrae agua subterránea de la sección del acuífero ubicada dentro de su frontera, dependiendo de su tasa y extensión de bombeo, el Estado A podría invertir el flujo de agua subterránea dentro del área de influencia del pozo de tal manera que el agua subterránea fluiría del Estado B al Estado A (**Figura 42**).

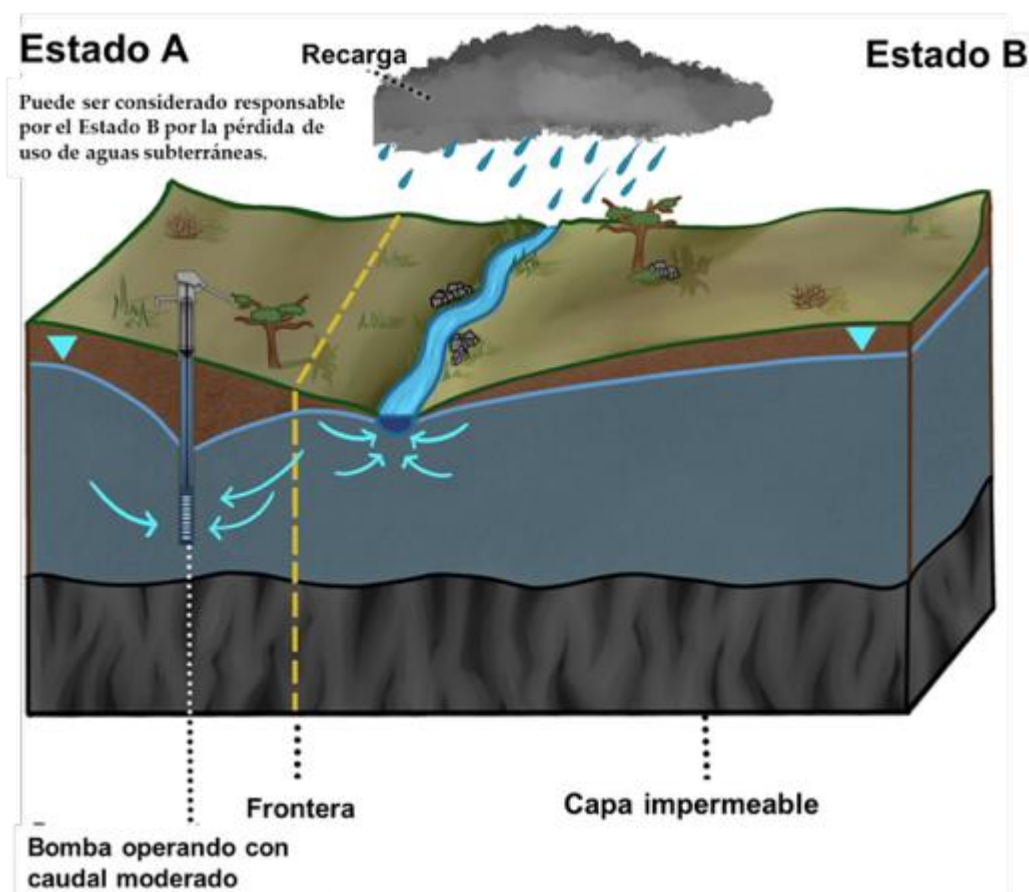


Figura 42 - El Estado A bombea a un ritmo moderado desde la sección del acuífero ubicada en su lado de la frontera en el Modelo C con un río ganando, produciendo la configuración del nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea que se muestran a lo largo de la sección transversal C1 como se muestra en la cara frontal de esta imagen. El área de influencia del pozo cruza la frontera provocando que el agua subterránea fluya del Estado B al Estado A dentro del área de influencia del pozo. En esta imagen, esa zona de influencia no llega al río, por lo que el impacto en el caudal del río es mínimo. El Estado B puede tener una reclamación de responsabilidad contra el Estado A, dependiendo del grado de daño que sufre el Estado B por la pérdida de uso del agua subterránea cuyo flujo se invirtió al Estado A.

En una situación extrema, si el bombeo es lo suficientemente fuerte, las actividades del Estado A podrían incluso disminuir el caudal de agua en el río doméstico del Estado B al provocar que el agua del río se filtre al acuífero y hacia el Estado A (**Figura 43**). En tales escenarios, fluiría menos agua subterránea hacia el segmento del acuífero del Estado B, así como hacia el río del Estado B. Dependiendo del grado de daño que sufra el Estado B por esta reducción del caudal de agua subterránea, podría tener derecho a reclamar responsabilidad por reparación de daños contra el Estado A.

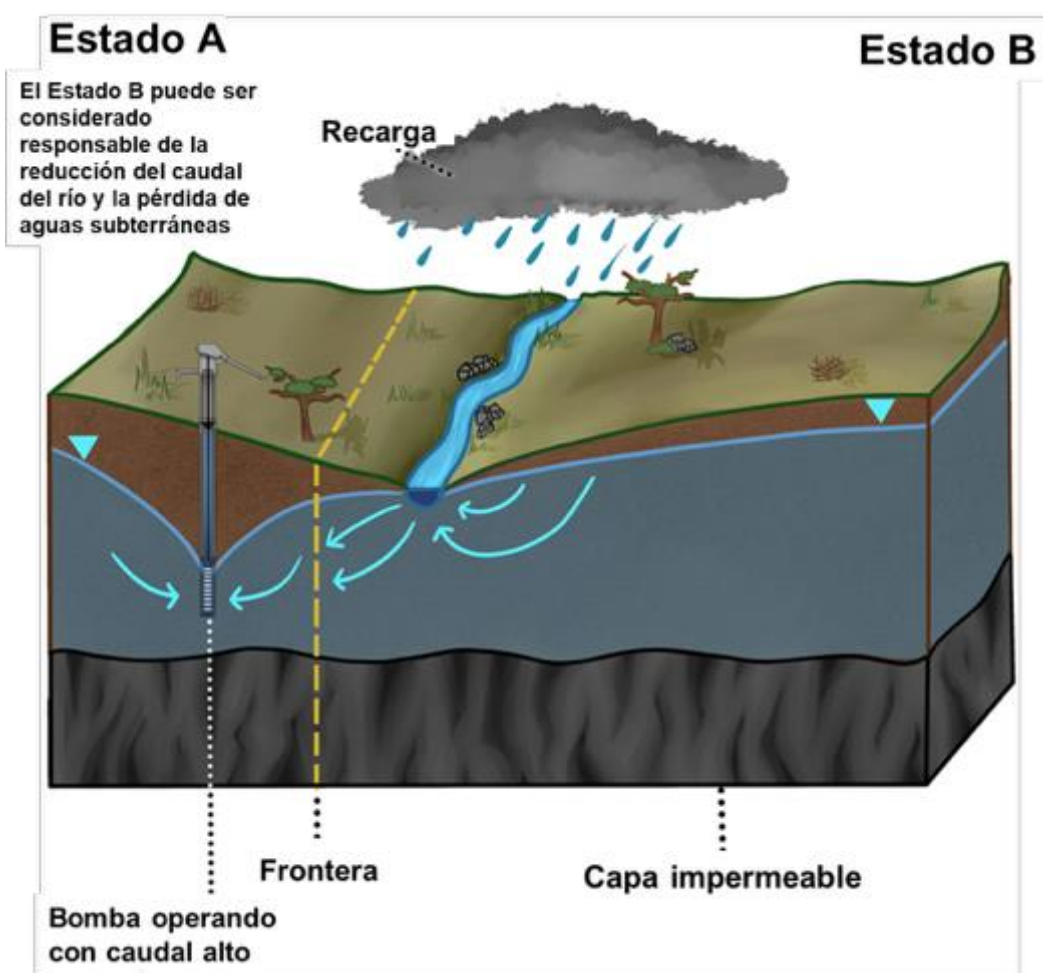


Figura 43 - El Estado A bombea a alta velocidad desde la sección del acuífero ubicada en su lado de la frontera en el Modelo C con un río ganando, lo que produce la configuración del nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea que se muestran a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. El área de influencia del pozo cruza la frontera y llega al río interno del Estado B, lo que hace que el agua subterránea y el agua del río fluyan del Estado B al Estado A. El Estado B puede tener un reclamo de responsabilidad contra el Estado A, dependiendo del grado de daño que ese Estado haya causado. B sufre la pérdida de uso de aguas subterráneas y de ríos en su lado de la frontera.

En cambio, si el Estado B extrae agua subterránea de la sección del acuífero ubicada dentro de su frontera, dependiendo de la velocidad y la extensión del bombeo, podría acelerar ese flujo localmente dentro del cono de depresión del pozo, reduciendo así la cantidad de agua subterránea de la que puede disfrutar el Estado A (**Figura 44**). Sin embargo, en este último escenario, si bien el Estado B podría ser responsable de privar al Estado A de parte del agua subterránea, la desposesión del agua subterránea probablemente tendría que ser sustancial para ser procesable conforme a la ley, dado que en condiciones naturales el agua subterránea ya fluye del Estado A al Estado B.

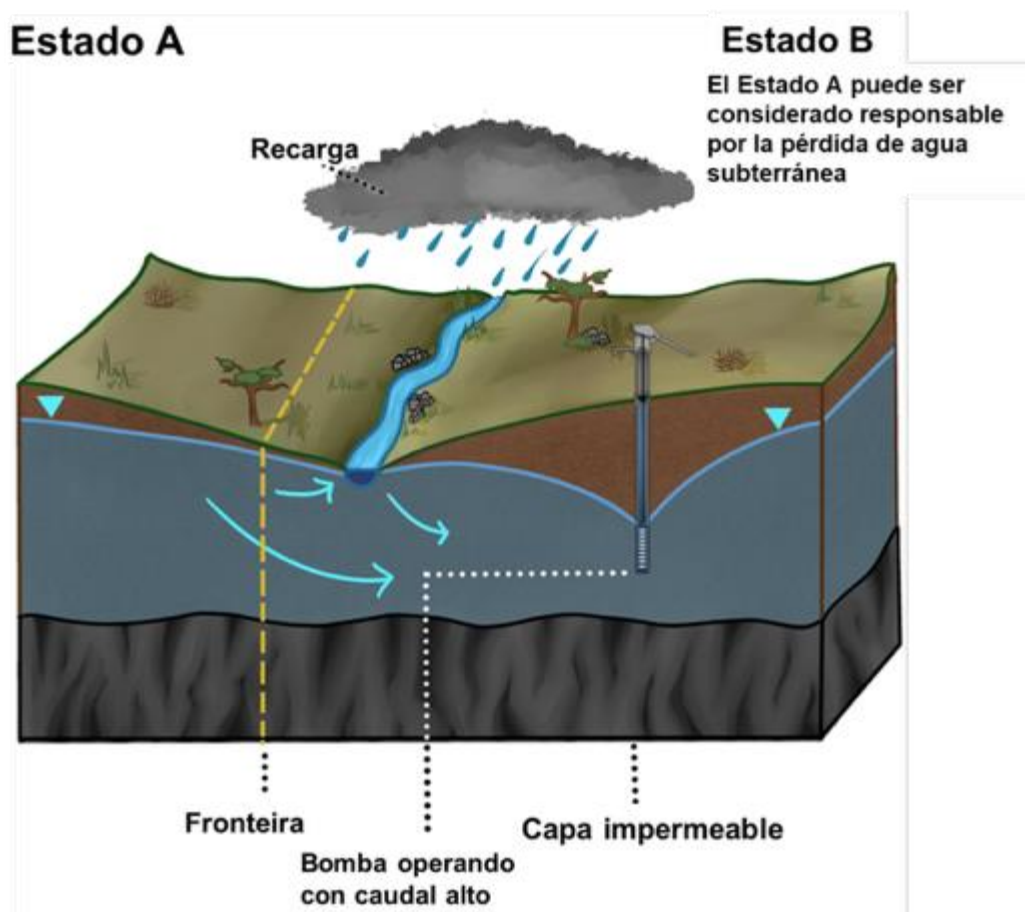


Figura 44 - El Estado B bombea a alta velocidad desde la sección del acuífero ubicada en su lado de la frontera en el Modelo C con un río ganando, lo que produce la configuración del nivel freático y las direcciones del flujo de agua subterránea que se muestran a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. . El bombeo provoca un aumento en el caudal de agua subterránea a través de la frontera del Estado A al Estado B, reduciendo así la cantidad de agua subterránea disponible para el Estado A. La pérdida de agua subterránea por parte del Estado A probablemente tendría que ser sustancial para ser procesable según la ley dada. que en condiciones naturales el agua subterránea ya fluye del Estado A al Estado B.

Se pueden describir escenarios de responsabilidad similares para cualquier contaminante antropogénico o natural que se encuentre en el acuífero dentro del Estado A. Dichos contaminantes fluirían naturalmente hacia el Estado B, incluido el río del Estado B (Figura 45).

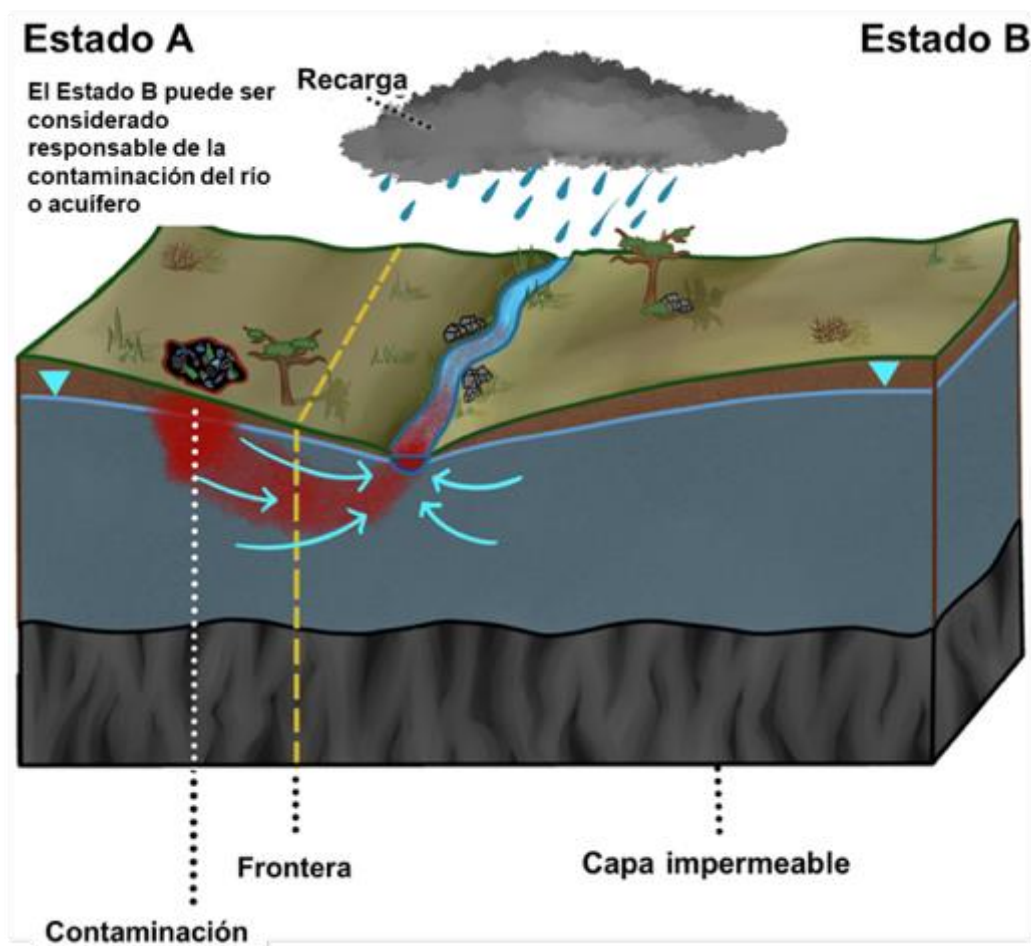


Figura 45 - En condiciones naturales (sin bombeo) en el Modelo C con un río ganando terreno, el Estado A ha contaminado el acuífero. Las direcciones del flujo de agua subterránea se muestran a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. Los contaminantes de la fuente de contaminación fluyen hacia el Estado B como resultado del flujo natural de agua subterránea, incluso hacia el río del Estado B. El Estado A sería responsable del daño significativo que la contaminación cause al acuífero y al río en el Estado B.

Como se sugirió en una sección anterior, el Estado A no tendría ninguna responsabilidad por reparación de daños ante el Estado B por los contaminantes naturales que migran en condiciones naturales al Estado B. Sin embargo, el Estado A sería responsable de los contaminantes no naturales que pudiera introducir en el acuífero dentro de su jurisdicción, y podría ser responsable de los daños significativos que esto le ocasionara al Estado B. Además, podría ser responsable por reparación de los daños resultantes de la aceleración o amplificación del flujo de contaminantes hacia el Estado B. Por el contrario, el Estado B podría no poder reclamar responsabilidad por los daños sufridos si se lo encuentra responsable de acelerar o amplificar ese flujo de contaminación transfronterizo, por ejemplo, instalando un pozo en su lado de la frontera que atraiga la contaminación del Estado A hacia el Estado B.

Se pueden aplicar explicaciones análogas si el modelo representara que el río pierde agua, es decir, que el agua fluye naturalmente desde el río hacia el acuífero, aunque con un conjunto diferente de responsabilidades y obligaciones. En tales circunstancias, el agua

subterránea fluiría naturalmente desde el Estado B a través de la frontera hacia el Estado A (**Figura 46**). Como resultado, si el Estado A instalara un pozo cerca de su frontera con el Estado B, podría incrementar y acelerar el flujo y el volumen de agua subterránea que cruza la frontera dentro del área de influencia del pozo (**Figura 47**).

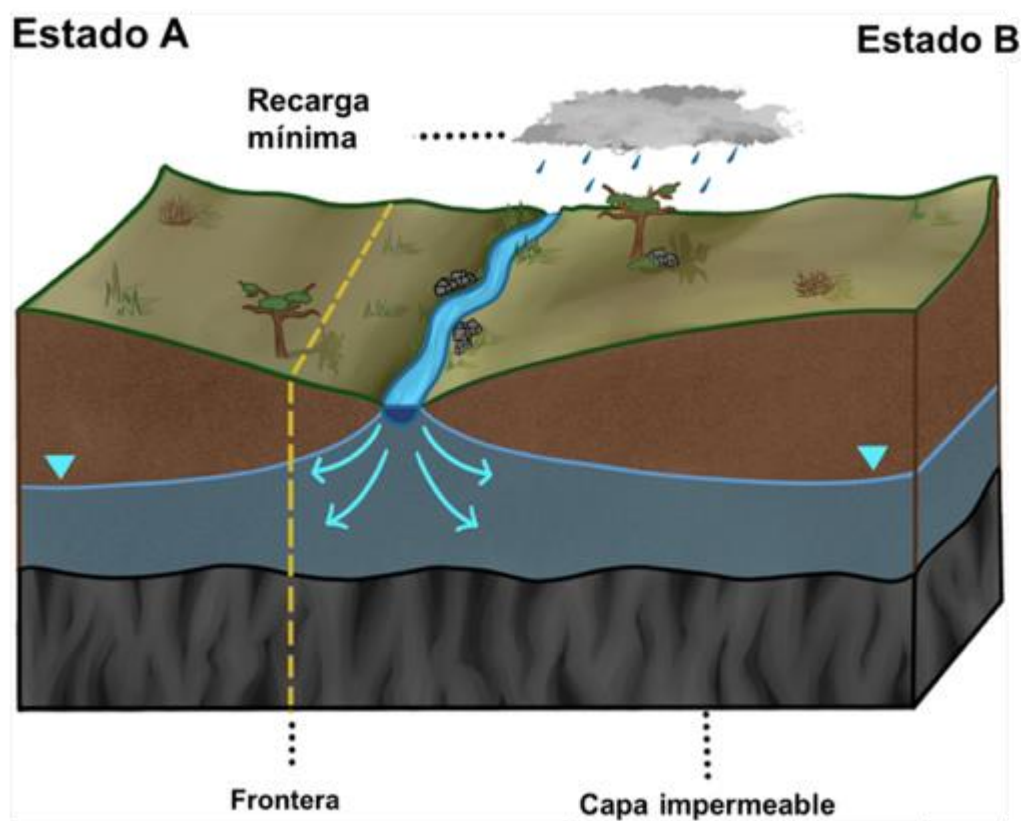


Figura 46 - Modelo C con un río descendente y condiciones hidrológicas naturales (sin bombeo), que muestra las direcciones del nivel freático y del flujo de agua subterránea a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. El agua subterránea fluye naturalmente del Estado B al Estado A.

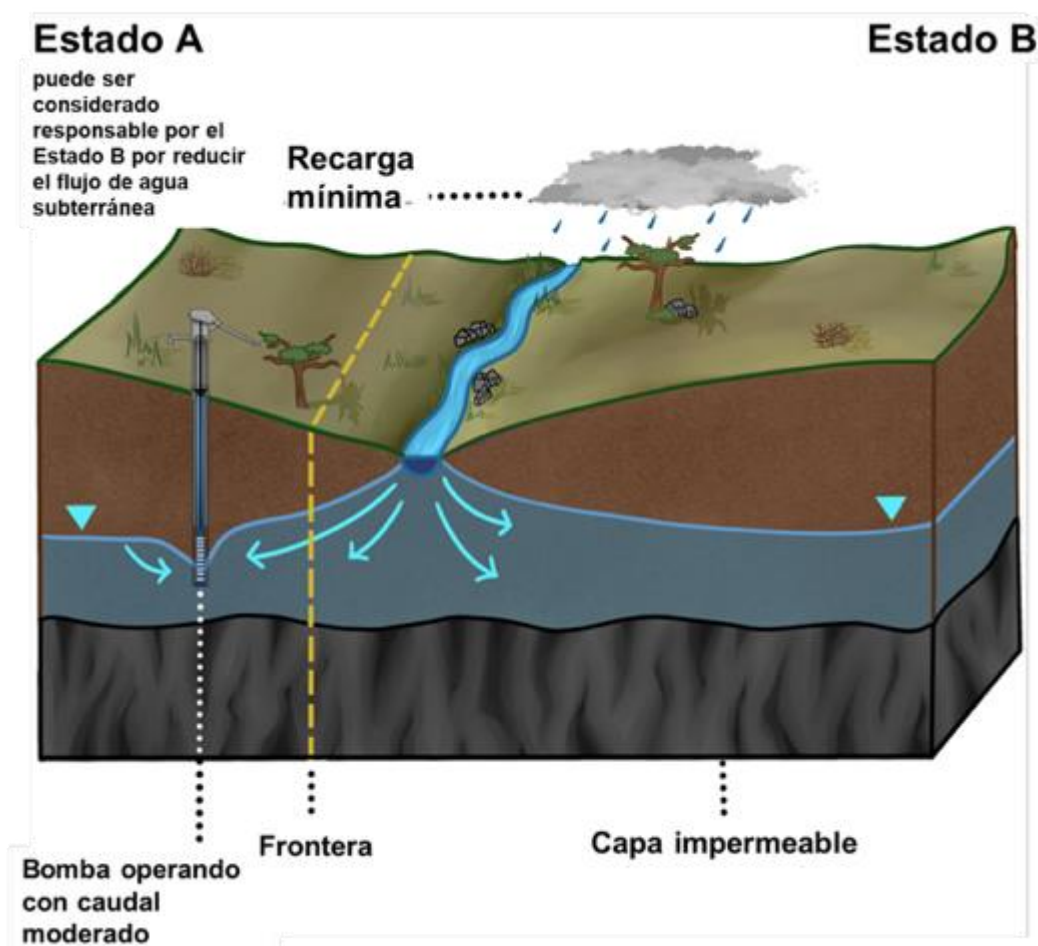


Figura 47 - El Estado A bombea agua subterránea a un ritmo moderado desde la sección del acuífero ubicada en su lado de la frontera en el Modelo C con un río perdedor. Dentro del área de influencia del pozo, el bombeo acelera el flujo de agua subterránea del Estado B al Estado A, como se muestra a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. En tales condiciones, el Estado B puede tener una reclamación de responsabilidad contra el Estado A dependiendo del grado de daño que sufre el Estado B por la pérdida de uso de las aguas subterráneas en su territorio.

El bombeo también podría incrementar y acelerar el flujo transfronterizo de cualquier contaminación encontrada en el segmento del acuífero del Estado B. Además, si el bombeo del Estado A es lo suficientemente elevado, podría eventualmente afectar el flujo de agua en el río doméstico del Estado B, intensificando el estado de pérdida natural del río, lo que provocaría que más agua del río se infiltrara al acuífero y hacia el Estado A (Figura 48).

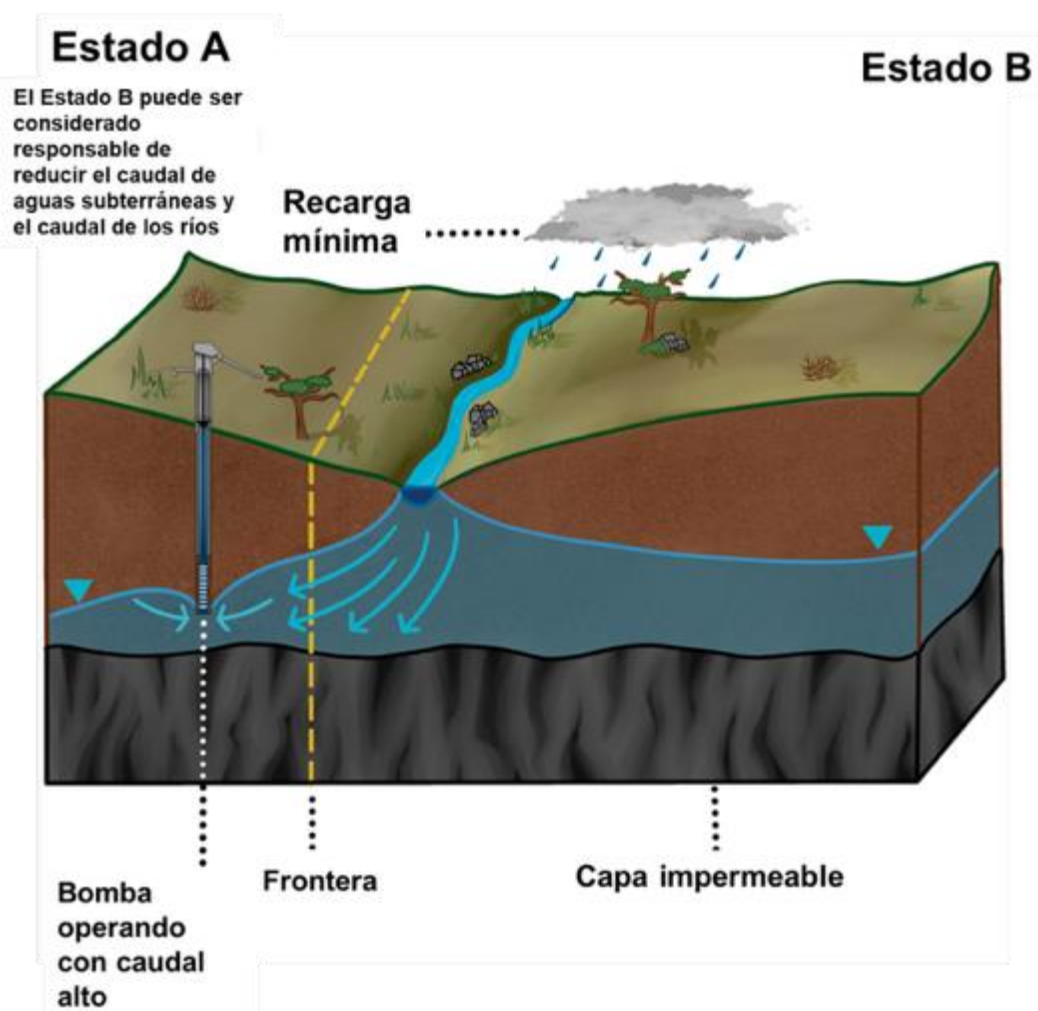


Figura 48 - El Estado A bombea agua subterránea a un ritmo elevado desde la sección del acuífero ubicada en su lado de la frontera en el Modelo C con un río perdedor. Dentro del área de influencia del pozo, el bombeo hace que la división de agua subterránea bajo el río se desplace ligeramente alejándose del pozo de bombeo, acelera el flujo de agua subterránea del Estado B al Estado A y aumenta la proporción de agua del río que se filtra al pozo. acuífero y fluye a través de la frontera hacia el Estado A, como se muestra a lo largo de la sección transversal C1 en la parte frontal de esta imagen. En tales condiciones, el Estado B puede tener una reclamación de responsabilidad contra el Estado A dependiendo del grado de daño que sufre el Estado B por la pérdida de uso de las aguas subterráneas y del caudal de los ríos en su territorio.

Por otra parte, si el Estado B instala un pozo cerca de su frontera con el Estado A, podría reducir el flujo natural de agua subterránea a través de la frontera e incluso revertir ese flujo natural dentro del área de influencia del pozo (**Figura 49**). Asimismo, podría provocar que cualquier contaminante encontrado en el segmento del acuífero del Estado A fluya hacia el pozo del Estado B.

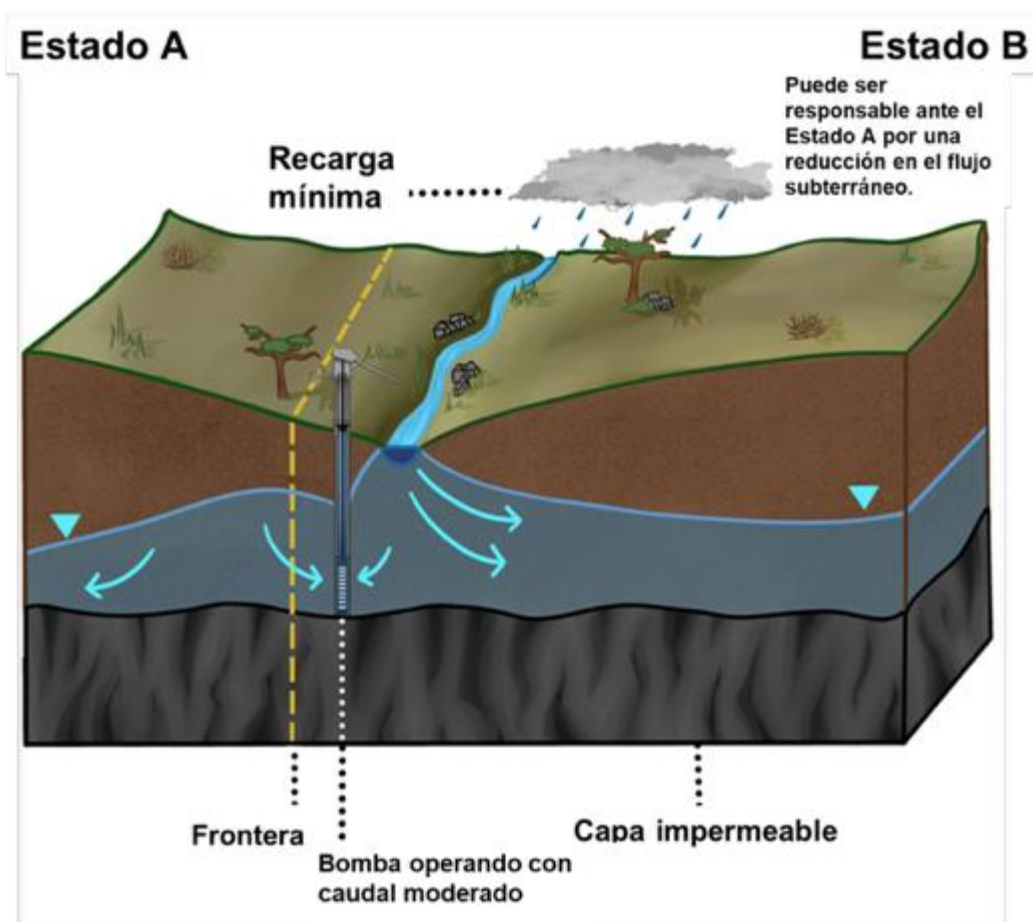


Figura 49 - El Estado B bombea agua subterránea a un ritmo moderado desde la sección del acuífero ubicada en su lado de la frontera en el Modelo C con un río perdedor. El bombeo hace que el agua subterránea fluya del Estado A al Estado B, lo cual es una inversión del flujo en condiciones naturales (**Figura 46**), como se muestra a lo largo de la sección transversal C1 en la cara frontal de esta imagen. Como resultado, el Estado B puede ser responsable ante el Estado A dependiendo del grado de daño que el Estado A sufre por la reducción del flujo de agua subterránea en su territorio.

Un ejemplo de un acuífero libre que atraviesa una frontera internacional y está atravesado por un río nacional se puede encontrar a lo largo de la frontera entre México y Estados Unidos. El acuífero de la cuenca de Mimbres es un acuífero libre que atraviesa el noroeste de Chihuahua en México y el suroeste de Nuevo México en Estados Unidos (**Figura 50**). El acuífero está vinculado hidrológicamente al río Mimbres, que fluye completamente dentro de Estados Unidos y tiene una relación de pérdida con el acuífero (Hebard, 2000).



Figura 50 - Mapa de la extensión geográfica del acuífero transfronterizo de Mimbres. El acuífero libre está conectado hidrológicamente con el río Mimbres, que fluye enteramente dentro de los EE. UU. y tiene una relación perdedora con el acuífero (reproducido de Rodríguez, 2022d).

4.4 Modelo D: Acuífero Doméstico Libre Vinculado Hidrológicamente A Un Río Transfronterizo

Hasta cierto punto, el Modelo D (**Figura 51**) es el inverso del Modelo C. Aquí, el modelo representa un río que atraviesa una frontera política y que está conectado hidrológicamente a un acuífero no confinado intrajurisdiccional o nacional; por ejemplo, el acuífero está ubicado completamente dentro de la jurisdicción de un Estado. El río en el Estado A en este ejemplo fluye sobre un lecho de roca u otro material impermeable o fluye en un ángulo tan pronunciado que la posibilidad de que se forme un acuífero es mínima. Por lo tanto, la característica clave de este modelo es que el carácter transfronterizo de este ejemplo de acuífero-río se encuentra exclusivamente en el río. Sin embargo, esto no significa que el acuífero en este modelo sea insignificante. De hecho, este modelo se puede subdividir en dos submodelos.

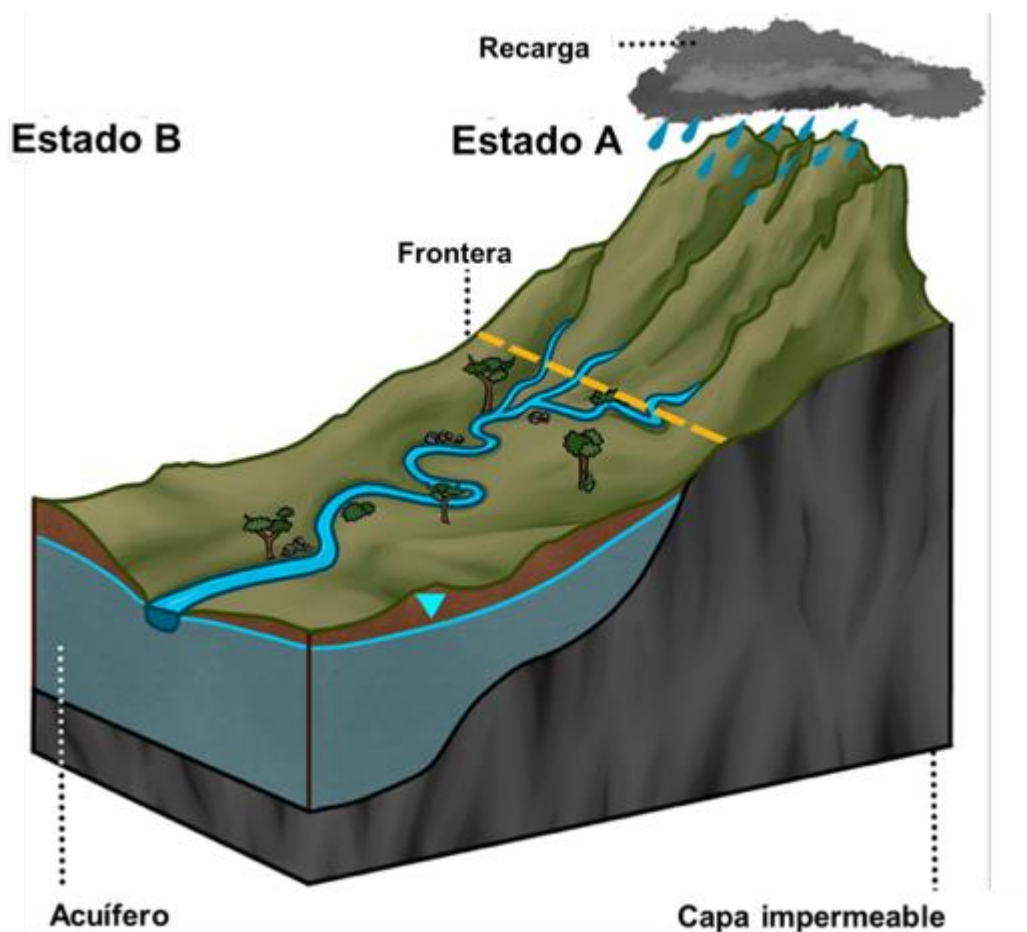


Figura 51 - Modelo D: Un río que fluye a través de una frontera internacional que está hidrológicamente vinculado a un acuífero libre que se encuentra completamente dentro del territorio del Estado del curso de agua aguas abajo.

El modelo D ilustra el escenario en el que el acuífero se encuentra en la jurisdicción de aguas abajo (Estado B). En otras palabras, en este ejemplo el acuífero es exclusivamente doméstico del Estado B. En este caso, las implicaciones transfronterizas dependerían únicamente del volumen y la calidad del agua del río que fluye del Estado A al Estado B. Por lo tanto, el Estado A en este modelo tendría la oportunidad y la responsabilidad singulares de garantizar el flujo del agua que fluye río abajo hacia el Estado B, incluida cualquier disminución en la cantidad o calidad de ese flujo aguas abajo. Por lo tanto, si el Estado A desviara ese flujo dentro de su territorio (**Figura 52**), en ausencia de un acuerdo con el Estado B, podría estar sujeto a responsabilidad por reparación de daños ante el Estado B, si el desvío redujera significativamente el flujo aguas abajo hacia el Estado B.

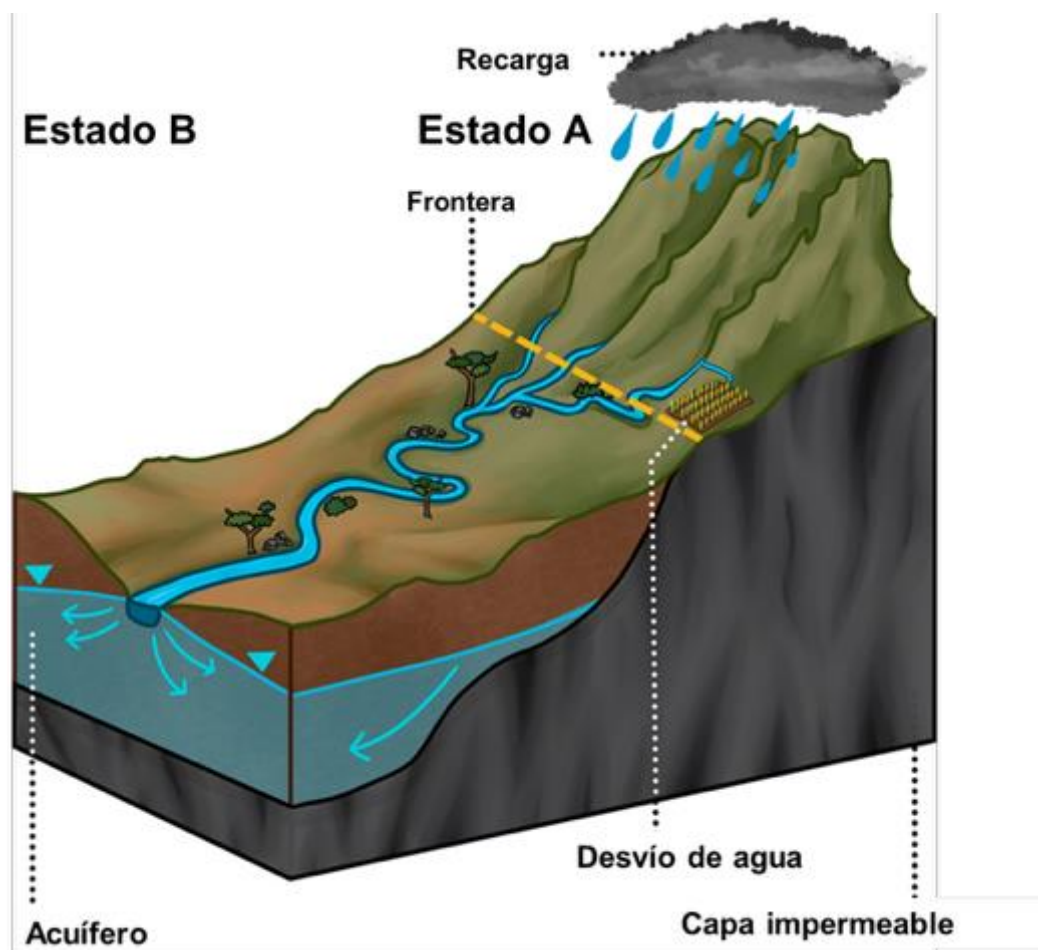


Figura 52 - Diagrama que muestra un río transfronterizo hidrológicamente conectado a un acuífero en una relación de pérdida con el río que es enteramente interno del Estado B, y donde el Estado A está desviando agua del río para su uso dentro de su territorio.

Si la corriente de agua en el Estado B es un río influente (**Figura 52**), el Estado A tiene la oportunidad y responsabilidad adicional (aunque no está claro si el Estado A sufriría responsabilidad legal si no lo hiciera) de salvaguardar la cantidad y la calidad del agua en el acuífero hidrológicamente conectado que subyace al Estado B. Esto se debe a que cualquier actividad en el Estado A que afecte negativamente el volumen o la composición química del río podría afectar el acuífero doméstico del Estado B. Una excepción a este escenario es si la cantidad o calidad disminuida del flujo río abajo es el resultado exclusivo de causas naturales como cambios climáticos o impurezas nativas del lecho del río, en cuyo caso el Estado A no tendría ninguna responsabilidad por reparación de daños asociados a las consecuencias río abajo.

Un ejemplo de este modelo se puede encontrar en la cuenca mesopotámica de los ríos Tigris y Éufrates (**Figura 53**). Los dos ríos tienen sus nacimientos en el macizo cristalino del sudeste de Anatolia, en Turquía, y luego fluyen a través de fronteras internacionales. El Tigris fluye hacia el sudeste hasta Irak, mientras que el Éufrates fluye primero hacia el sur a través de Siria y luego hacia el sudeste hasta Irak. En Irak, los dos ríos fluyen sobre la

gran cuenca sedimentaria de Mesopotamia, formando un acuífero libre, que en algunos lugares tiene un espesor de hasta 300 m (984 pies) (FAO, 2008).

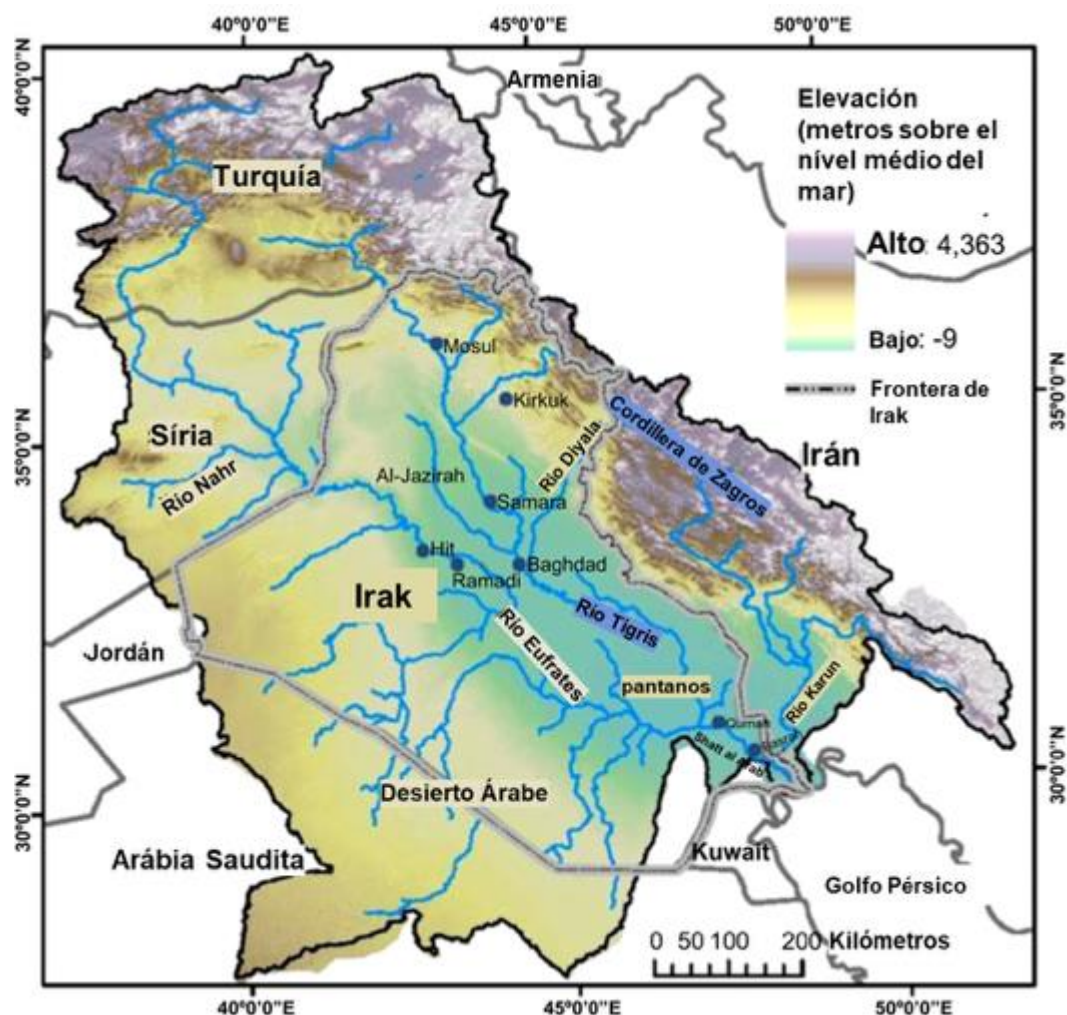


Figura 53 - Mapa de la zona de captación de los ríos Tigris y Éufrates (reproducido de Flint et al., 2011). Los dos ríos atraviesan las fronteras de Turquía y Siria y desembocan en Irak, donde fluyen sobre una gran cuenca sedimentaria ilimitada.

Una variación de este modelo comprende la situación inversa a la ilustrada en el Modelo D, donde el acuífero doméstico está en la jurisdicción aguas arriba, en este caso el Estado A (Figura 54).

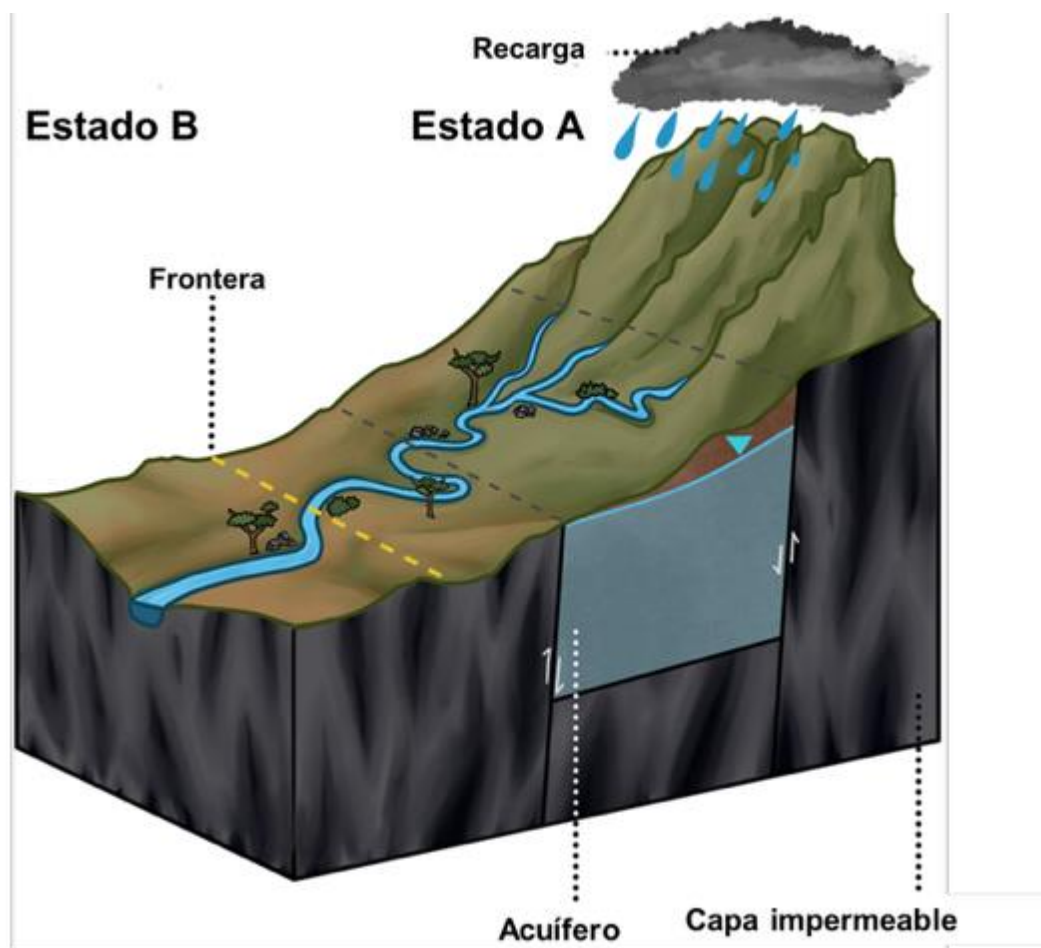


Figura 54 - Diagrama que muestra un río transfronterizo hidrológicamente conectado a un acuífero ubicado enteramente dentro del estado ribereño superior del río. Las líneas grises discontinuas muestran la extensión subsuperficial del acuífero.

Como en el ejemplo anterior, las implicaciones transfronterizas para el Estado B estarían completamente en manos del Estado A y dependerían de la cantidad y calidad del agua que fluye por el río aguas abajo hacia el Estado B. Sin embargo, el río también estaría influenciado por la relación río-acuífero en el Estado A, lo que impondría al Estado A la responsabilidad adicional de gestionar su acuífero doméstico de una manera que no afectara negativamente el flujo de agua en el río. Si el río ganara caudal en el Estado A, cualquier contaminante encontrado en el acuífero doméstico del Estado A podría migrar al río y fluir hacia el Estado B (**Figura 55**).



Figura 55 - Diagrama que muestra un río transfronterizo en una relación ganadora con un acuífero ubicado enteramente dentro del estado ribereño superior del río (Estado A). Cualquier contaminación que se produzca en el acuífero interno del Estado A podría migrar al río y fluir hacia el Estado B.

Si el río estuviese perdiendo agua, la contaminación encontrada en el acuífero doméstico del Estado A permanecería en el Estado A (**Figura 56**). De manera similar, si el río estuviese perdiendo agua en el Estado A y la contaminación se introdujera en el río a una distancia significativa de la frontera política, esa contaminación se eliminaría del río, al menos parcialmente, antes de que llegue al Estado B como resultado de la infiltración del río en el acuífero del Estado A (**Figura 57**). Sin embargo, independientemente de si el río está ganando o perdiendo, cualquier bombeo en las proximidades del río donde el cono de depresión alcanza el río, podría disminuir el volumen de agua que fluye río abajo hacia el Estado B. No obstante, cualquier actividad en el Estado A con respecto al acuífero o río que tenga un impacto transfronterizo sustancial en el Estado B a través del río podría considerarse procesable y dar lugar a responsabilidad por reparación de daños para el Estado A.

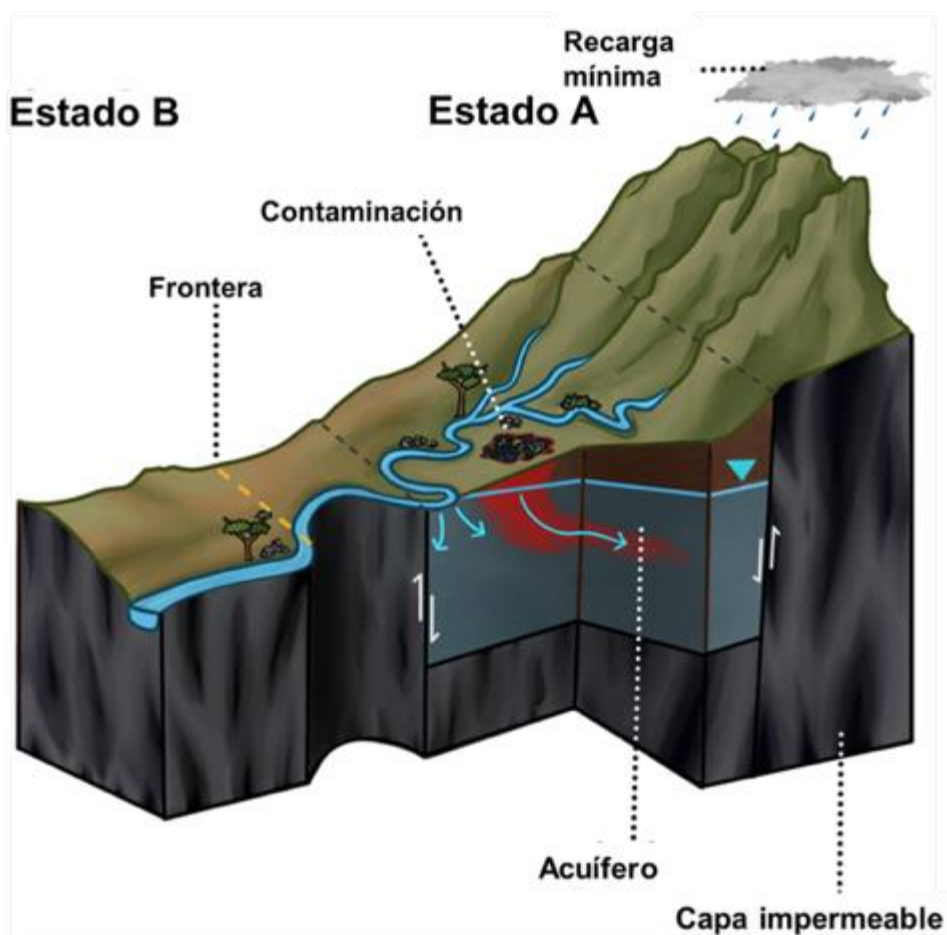


Figura 56 - Diagrama que muestra un río transfronterizo en una relación perdedora con un acuífero ubicado enteramente dentro del estado ribereño superior del río (Estado A). Cualquier contaminación que se produzca en el acuífero interno del Estado A permanecería en el Estado A.

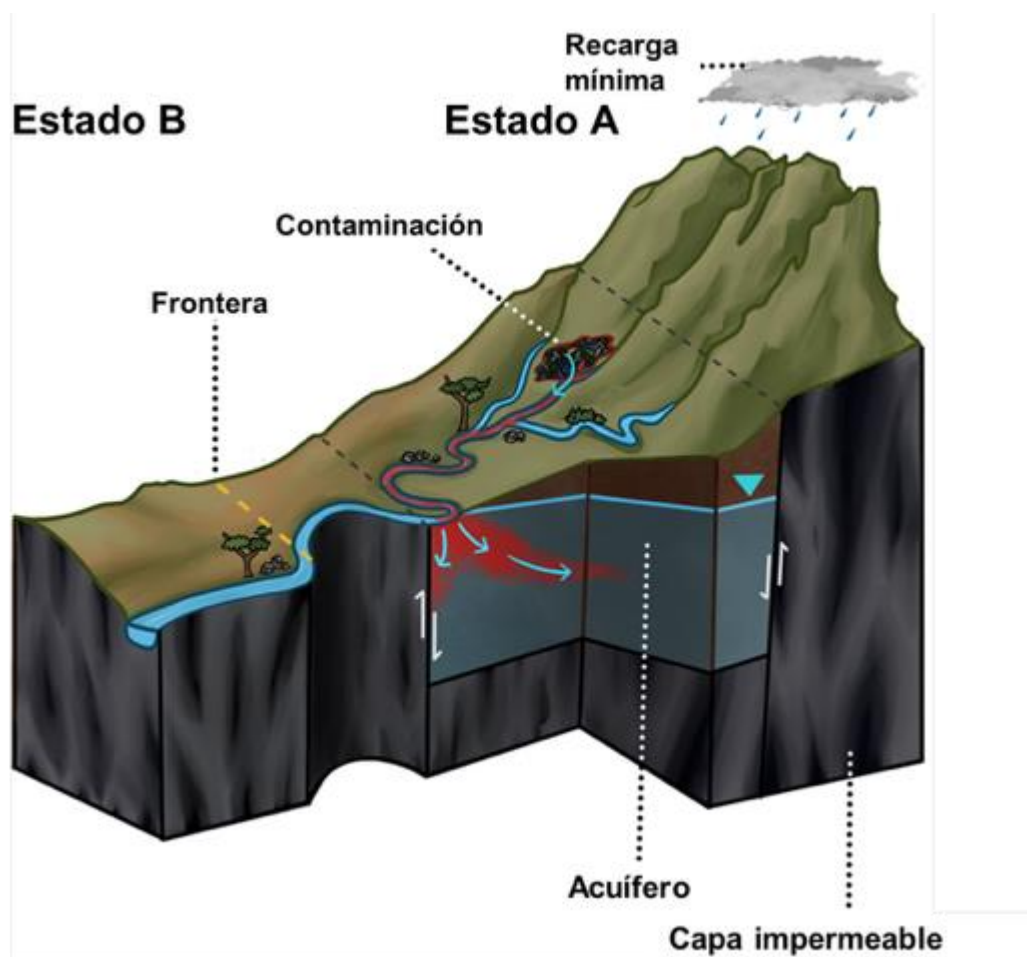


Figura 57 - Diagrama que muestra un río transfronterizo en una relación perdedora con un acuífero ubicado enteramente dentro del estado ribereño superior del río (Estado A). Cualquier contaminación introducida en el río en el Estado A sería eliminada (al menos parcialmente) del río antes de que llegue al Estado B debido a la infiltración del río en el acuífero del Estado A.

Cabe señalar que estas dos versiones del Modelo D son intencionalmente simplistas para identificar y explorar las implicaciones transfronterizas con mayor facilidad. En el mundo natural, es totalmente posible que un río transfronterizo pueda estar conectado hidrológicamente a acuíferos domésticos independientes ubicados tanto en el Estado A como en el Estado B, así como a un acuífero transfronterizo adicional. También es posible que el acuífero ubicado en el Estado aguas arriba en realidad esté conectado hidráulicamente a un afluente del río que atraviesa la frontera política. El punto clave aquí es que, dependiendo de la relación hidrológica entre el río y el acuífero doméstico en el Estado A, así como de las actividades relacionadas con el río y el acuífero en el Estado A, el Estado A sería responsable y potencialmente tendría que reparar los daños por eventuales consecuencias transfronterizas para el Estado B aguas abajo.

Un ejemplo de este modelo, en el que el acuífero está ubicado completamente en el estado ribereño superior y está conectado a un río transfronterizo en una relación mayoritariamente de pérdida es el acuífero aluvial que está conectado hidráulicamente al río Gila en el sur de Arizona, EE. UU. El río Gila es un afluente del río Colorado justo antes

de que el río Colorado fluya a través de la frontera desde EE. UU. hacia México. Los acuíferos aluviales domésticos fluyen a lo largo de varios segmentos del río Gila en Arizona en la dirección general del río y, en su mayor parte, se recargan a partir de la precipitación y el río (Anderson, 1995). Efectivamente, estos acuíferos están en un estado ribereño superior (EE. UU.) y están conectados a un afluente de un cuerpo de agua superficial transfronterizo (el río Colorado) en una relación mayoritariamente perdedora que fluye hacia un estado ribereño inferior (México). Para evaluar su comprensión de este tema, el [Ejercicio 1](#)  brinda la oportunidad de trabajar con estos conceptos.

4.5 Modelo E: Acuífero Transfronterizo Confinado Con Zona De Recarga En Una Sola Jurisdicción Ribereña

Este quinto modelo, el Modelo E (**Figura 58**), presenta un acuífero confinado que atraviesa una frontera política con una zona de recarga en una porción no confinada del acuífero, que se localiza por completo en uno de los estados vecinos. En este modelo, si bien no hay conexión con un cuerpo de agua superficial, el acuífero está conectado al ciclo hidrológico a través de la zona de recarga. Aquí, el modelo representa el agua subterránea fluyendo en la dirección general del Estado A hacia el Estado B. Esto significa que el Estado A tendría una responsabilidad específica de garantizar la cantidad y calidad del agua que fluye hacia y a través del acuífero a medida que fluye por debajo del Estado B. Si bien todas las implicaciones transfronterizas serán funciones del flujo de agua subterránea a través del acuífero, una característica clave para los fines de evaluar la y reparación de daños es la ubicación de la frontera jurisdiccional en relación con el acuífero, sus segmentos confinados y saturados y la zona de recarga. Un escenario posible para la relación entre jurisdicción y acuífero es el ejemplo representado específicamente en el modelo en el que la porción confinada del acuífero atraviesa el límite político y la zona de recarga está ubicada exclusivamente en una de las jurisdicciones ribereñas del acuífero: el Estado A (**Figura 58**).

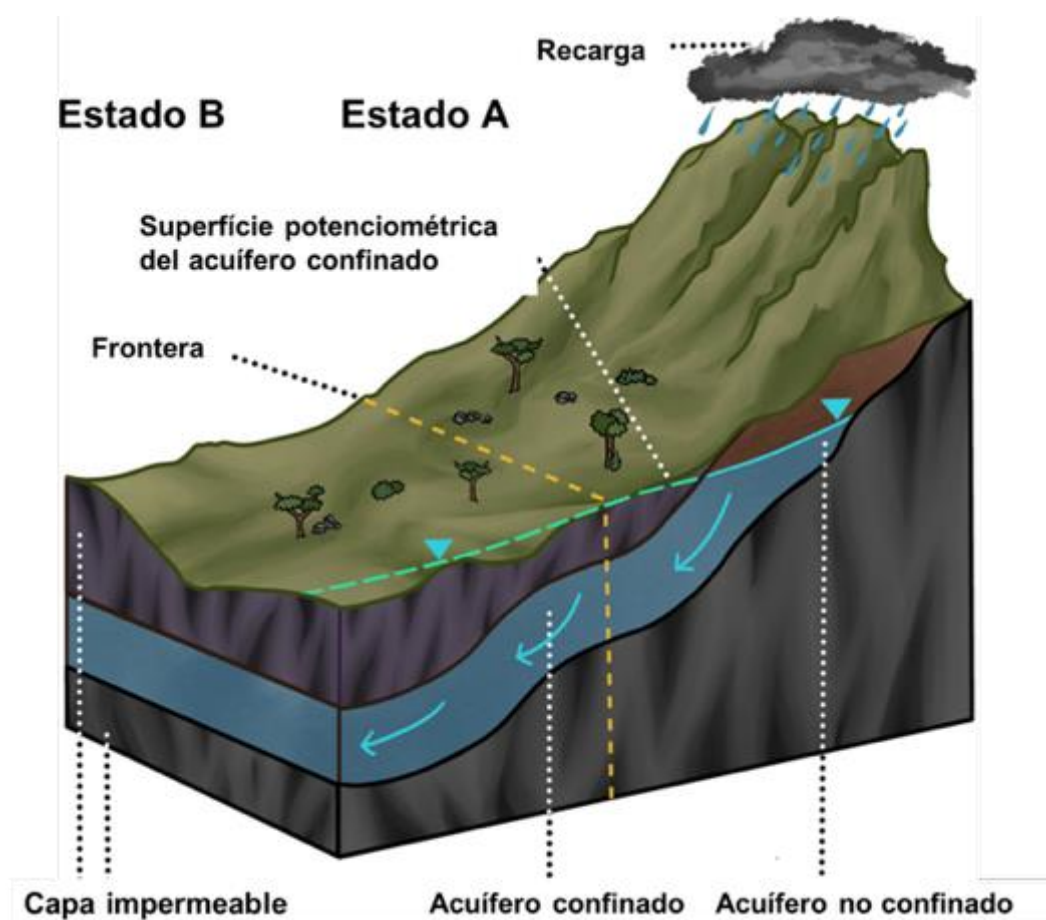


Figura 58 - Modelo E: Un acuífero confinado que atraviesa un límite político con una zona de recarga en sólo una de las jurisdicciones ribereñas. El modelo muestra el nivel freático en una porción no confinada del acuífero, la superficie potenciométrica en la sección confinada del acuífero y las direcciones del flujo de agua subterránea en condiciones naturales (sin bombeo).

En este escenario, cualquier bombeo excesivo en una o ambas jurisdicciones podría tener un impacto en toda la frontera. Por ejemplo, si el Estado A comenzara a extraer vigorosamente agua subterránea a lo largo de la frontera en exceso de la recarga natural, su cono de depresión (o, más precisamente, la reducción de la carga hidráulica que rodea el pozo bombeado) podría extenderse al Estado B (**Figura 59**).



Figura 59 - El Estado A bombea a un ritmo elevado desde el acuífero en su lado de la frontera en el Modelo E, produciendo cambios en la superficie potenciométrica de la zona confinada y en las direcciones del flujo del agua subterránea. En las proximidades del pozo, este bombeo puede invertir la dirección del flujo natural del agua subterránea a través de la frontera, provocando que el agua subterránea fluya del Estado B al Estado A dentro del área de influencia del pozo. Dependiendo del grado de daño que sufre el Estado B por la reducción del flujo de agua subterránea en su territorio, el Estado B puede tener un reclamo de responsabilidad contra el Estado A.

El impacto sustancial que esta reducción de la carga hidráulica tendrá en el Estado B dependerá de diversos factores, entre ellos, el diferencial de carga, los parámetros poroelásticos de la formación confinada, el coeficiente de almacenamiento específico y las escalas de tiempo asociadas. Si bien un análisis de este tipo puede ser complejo (y si bien el impacto puede tardar semanas, meses o años en sentirse al otro lado de la frontera), el potencial de impacto transfronterizo existe y podría incluir una reducción de la carga hidráulica y posiblemente del flujo de agua subterránea del Estado A al Estado B dentro del área de influencia que rodea el pozo del Estado B (**Figura 59**).

Además, los contaminantes naturales o artificiales que se encuentran en la zona de recarga del acuífero dentro del Estado B podrían ser transportados al Estado A debido al flujo natural, es decir, del Estado B al Estado A (**Figura 60**). Además, el transporte advectivo transfronterizo de contaminantes debido al bombeo por parte de uno de los estados del

acuífero ocurriría cuando la carga hidráulica dentro del área de influencia en el estado de bombeo es menor que la encontrada en el estado sin bombeo.

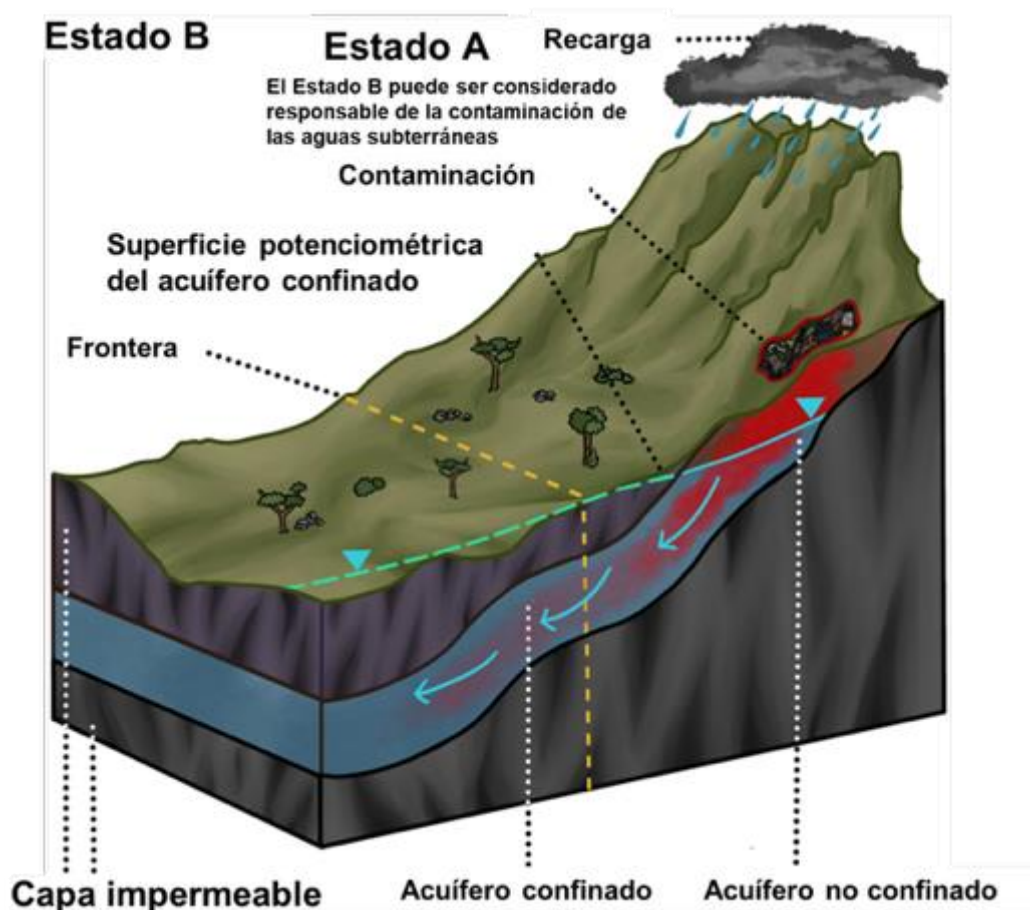


Figura 60 - La contaminación en la zona de recarga del Estado B causa contaminación de la porción no confinada del acuífero. En condiciones naturales (sin bombeo), la contaminación migra a la sección confinada del acuífero y cruza la frontera hacia el Estado B. En tales condiciones, el Estado B puede tener una reclamación de responsabilidad contra el Estado A por contaminar su sección del acuífero.

Además de esto, el escenario descrito en la **Figura 60** presenta otra posibilidad de responsabilidad. Dado que la zona de recarga está ubicada únicamente dentro del territorio del Estado A, el Estado A podría tomar medidas que reduzcan la recarga natural del acuífero, como por ejemplo captando o desviando la escorrentía superficial en las proximidades de la zona de recarga para su uso dentro del Estado A (**Figura 61**). Dicha acción podría privar al Estado B de parte del flujo natural de agua subterránea dentro del acuífero. Además, el Estado A podría llevar a cabo actividades que contaminen la superficie y cualquier agua utilizada en la zona de recarga (por ejemplo, escorrentía agrícola y desechos industriales y municipales no tratados), que luego podrían infiltrarse en el acuífero y hacer que los contaminantes migren al Estado B (**Figura 60**). Tales implicaciones imponen una carga adicional al Estado A para salvaguardar el acuífero en términos de asegurar el carácter y la sostenibilidad del área de recarga. Dado que la porción confinada

y saturada del acuífero en el Modelo E atraviesa la frontera entre las dos jurisdicciones en este escenario, es razonable suponer que el Estado A, de hecho, adoptaría tales medidas de protección ya que también puede beneficiarse del acuífero y de una zona de recarga que funcione adecuadamente.



Figura 61 - El Estado A desvía agua del área de recarga a un embalse de agua superficial. Esto provoca una reducción en el volumen de agua que se infiltra en la zona de recarga y llega al acuífero, una disminución del nivel freático en el Estado A, y la consiguiente reducción del flujo a través del acuífero confinado y una disminución de su superficie potenciométrica. Dependiendo del grado de daño que sufre el Estado B por la reducción del flujo de agua subterránea en su territorio y la reducción de la presión en su porción del acuífero confinado, el Estado B puede tener un reclamo de responsabilidad contra el Estado A.

Sin embargo, esto sugiere la posibilidad de un escenario ligeramente modificado en el que podría producirse un daño, pero en el que la responsabilidad en virtud del derecho internacional podría no ser fácil de asignar. Consideremos el último escenario presentado anteriormente, pero donde el acuífero está confinado y la mayor parte de su porción saturada no confinada se encuentra completamente en una jurisdicción (por ejemplo, en el Estado B) y donde la zona de recarga atraviesa la frontera política o se encuentra completamente en otra jurisdicción (por ejemplo, en el Estado A) (**Figura 62**). En este caso, las implicaciones transfronterizas dependerían exclusivamente de si la jurisdicción donde

se encuentra parte o toda la zona de recarga adopta medidas para proteger el acuífero y en qué medida lo hace.

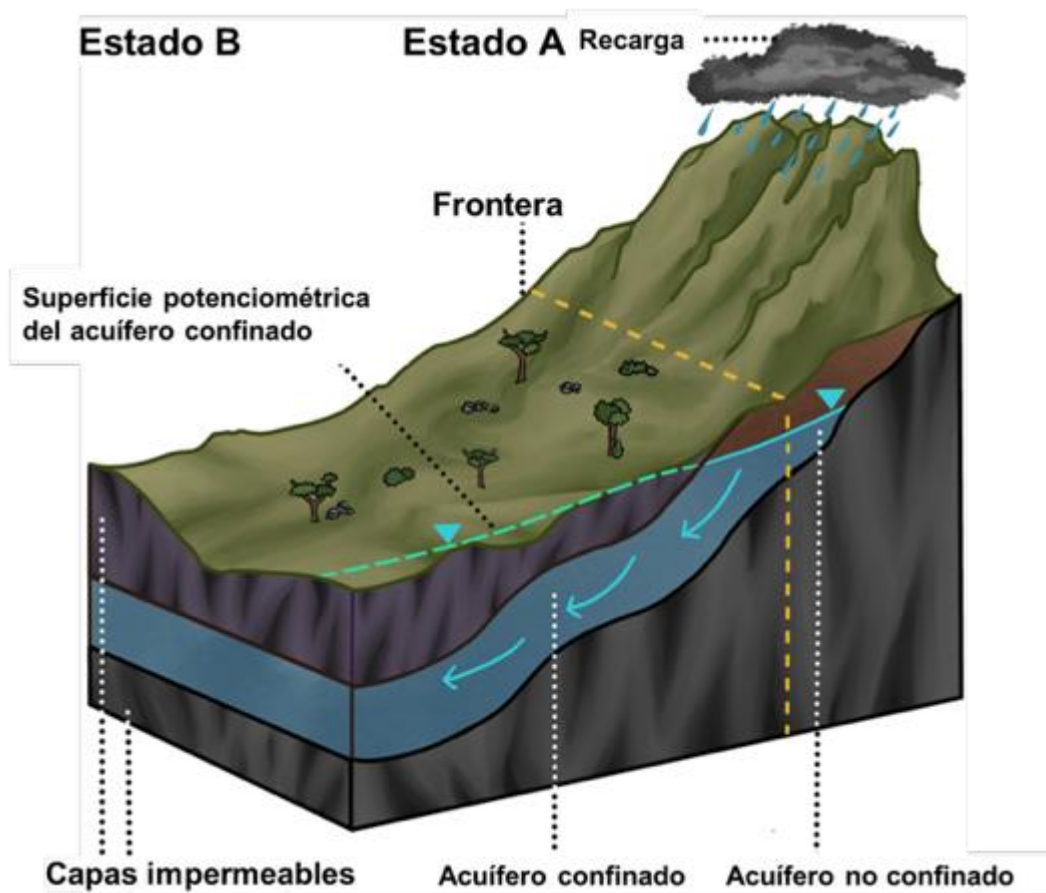


Figura 62 - Modelo E: con una posición fronteriza modificada de modo que la porción confinada del acuífero esté ubicada completamente en el Estado B. El Estado A tiene relativamente poco acceso a la porción saturada del acuífero y, por lo tanto, tiene pocos incentivos para proteger el acuífero en Estado B; El Estado B depende de que el Estado A practique una buena administración de la zona de recarga, incluido el mantenimiento del volumen y la calidad del agua de recarga. Esto crea un dilema que aún no ha sido abordado ni por el derecho internacional del agua ni por las leyes nacionales del agua para las unidades subnacionales que se encuentran sobre un acuífero común.

El problema aquí es que el Estado A (el estado donde se encuentra gran parte de la zona de recarga) tiene pocos incentivos, aparte de la buena vecindad, para implementar medidas de protección. Dado que esta jurisdicción solo cubre una pequeña sección de la capa saturada de la formación, su capacidad para obtener beneficios sustanciales del agua del acuífero es limitada, especialmente en comparación con el Estado B. Esto crea un dilema que el derecho internacional del agua, así como las leyes nacionales del agua de todas las naciones para unidades subnacionales, aún no han abordado. Por ahora, existe un vacío en la ley del agua que deja al estado en el que se encuentra el almacenamiento completamente dependiente de la buena voluntad de su vecino menos afortunado. Si bien ese estado podría decidir compartir su generosidad, no hay nada en el derecho internacional o nacional que

exija tal conducta. Y no está claro si la responsabilidad se aplicaría al estado con la zona de recarga por no proteger activamente los intereses de su vecino del estado del acuífero.

Sin embargo, en virtud del derecho internacional general (en comparación con el derecho internacional del agua), los principios de buena vecindad y otros principios relacionados seguirían aplicándose a este escenario y exigirían que el Estado con la zona de recarga garantice que las actividades dentro de su territorio no perjudiquen al Estado con el almacenamiento del acuífero. No obstante, el Estado con el almacenamiento del acuífero tendría derecho a explotar los recursos dentro de su propio territorio para satisfacer sus propias necesidades de desarrollo social y económico. El resultado no es diferente de otras situaciones en las que los Estados vecinos y las unidades subnacionales deben evaluar sus actividades en relación con el posible daño transfronterizo. Por lo tanto, la exigencia de la aplicación de medidas de protección específicas, así como la determinación de responsabilidades, puede resolverse mejor a través de negociaciones en lugar de mecanismos judiciales o de otro tipo.

Ejemplos de este modelo incluyen:

- la serie de acuíferos profundos y confinados en la cuenca del río Syr Darya de Kazajstán, que no están vinculados con el río Syr Darya pero se recargan en las altas montañas de Turkmenistán y Tayikistán (Sydykov y Veselov, 1993);
- el acuífero de montaña (**Figura 63**) entre Israel y el territorio palestino de Cisjordania, donde las formaciones calcáreas del Cretácico superior (Turonense-Cenomaniano) están expuestas y se recargan en las tierras altas dentro de las montañas de Judea y Samaria, y se inclinan hacia el oeste a través de la Línea de Demarcación del Armisticio de 1949, que separa a Israel propiamente dicho de Cisjordania, hacia el mar Mediterráneo y debajo de una capa de confinamiento (Eckstein y Eckstein, 2003); y
- el Acuífero Guaraní (**Figura 64**) debajo de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, que está confinado en el 90 por ciento de su extensión (Kemper et al., 2003; Tujchneider et al., 2003).

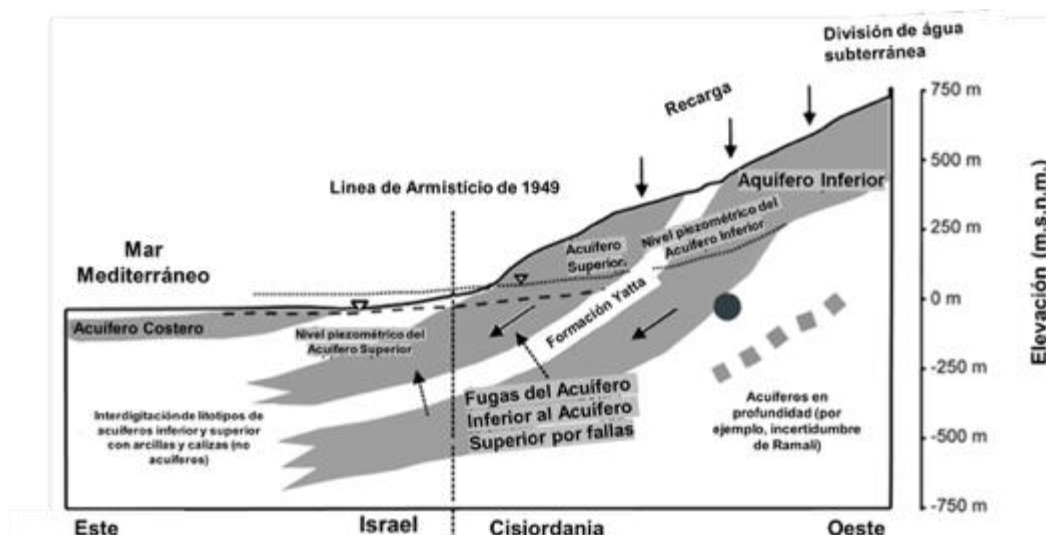


Figura 63 - Imagen que muestra una sección transversal de oeste a este de 70 km de largo (44 millas) desde la costa mediterránea a través de Israel y la parte central de la cuenca del acuífero occidental (reproducida de Mansour et al., 2012). La Línea del Armisticio de 1949 sirve como frontera de facto entre Israel y el Territorio Palestino de Cisjordania.

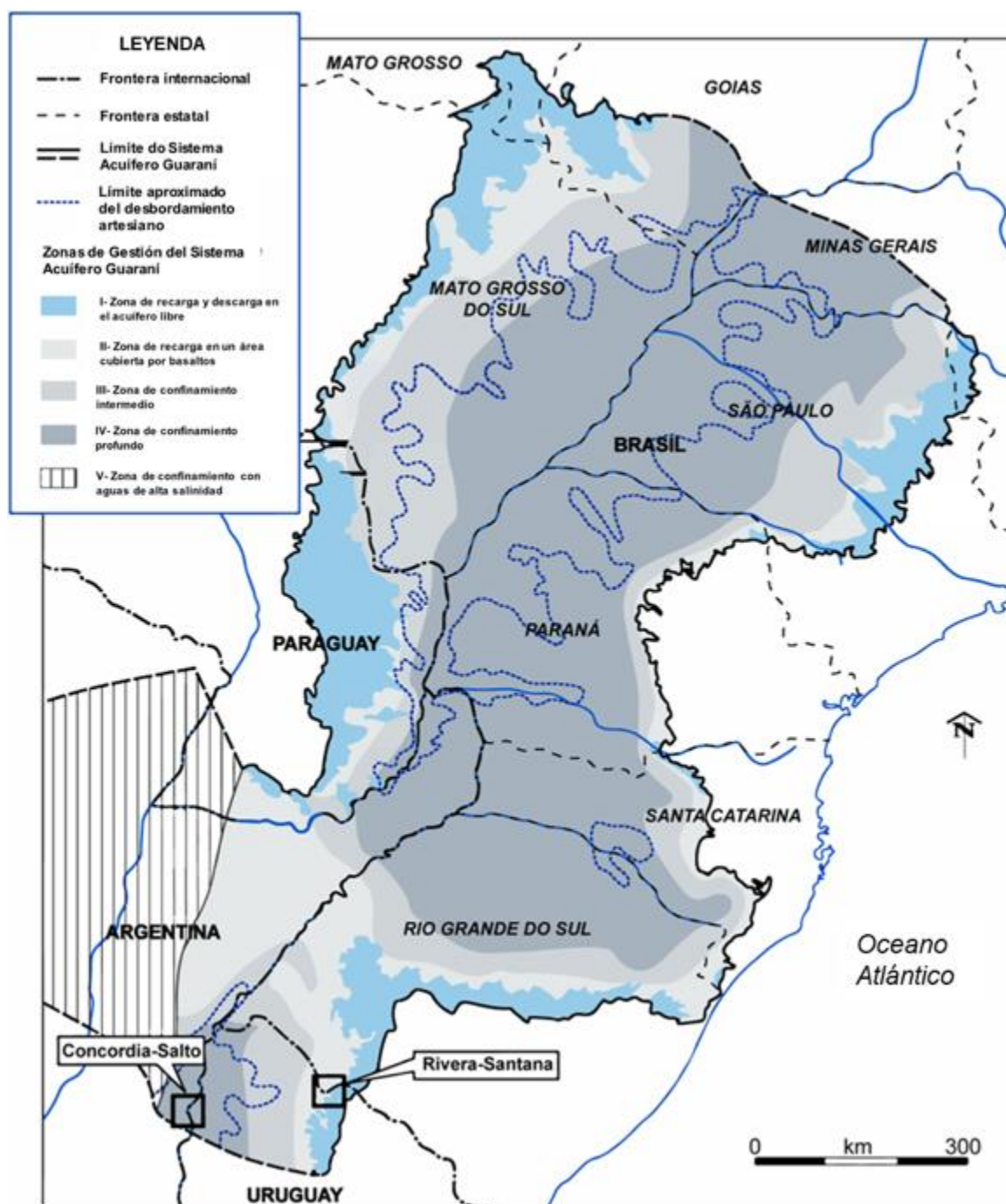


Figura 64 - Sistema Acuífero Guaraní que muestra zonas de gestión de recursos (reproducido de Foster et al., 2009).

4.6 Modelo F: Acuífero Transfronterizo No Recargable

El último modelo de esta serie, el Modelo F (**Figura 65**), también presenta un escenario que tanto el derecho internacional como las leyes nacionales de los países aún no han considerado en su totalidad. Este modelo describe un acuífero transfronterizo que no está relacionado con ningún cuerpo de agua superficial y que no recibe recarga o que recibe una recarga insignificante. Estos acuíferos, que a menudo contienen aguas antiguas,

pueden ser confinados o no confinados y fósiles o connatos (Bouwer, 1978). Como tales, estos tipos de acuíferos no se recargan y no se pueden explotar de manera sostenible.

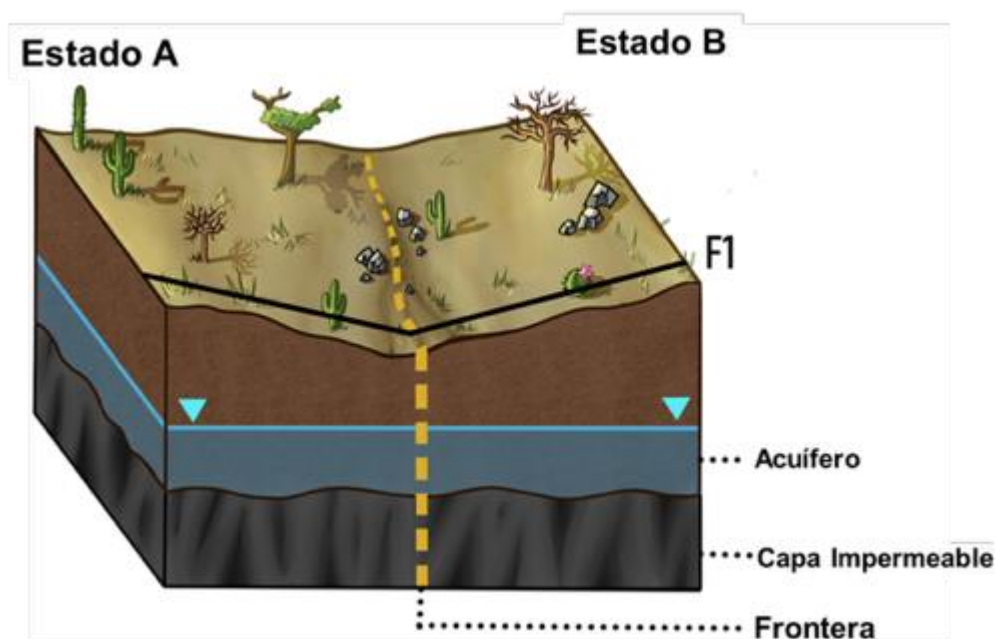


Figura 65 - Modelo F: Un acuífero transfronterizo que no está relacionado con ningún cuerpo de agua superficial y carece de cualquier recarga significativa. La línea negra etiquetada como F1 indica la ubicación de una sección transversal a la que se hará referencia en figuras posteriores para este modelo.

Toda extracción de un acuífero que no se recarga agota el acuífero. Como resultado, las consecuencias transfronterizas asociadas con estas formaciones geológicas distintas son casi exclusivamente una función del bombeo del acuífero en una o más de las jurisdicciones suprayacentes. Cuando una jurisdicción comienza a producir agua subterránea a partir de un pozo que penetra en un acuífero de este tipo, generará un cono de depresión en constante expansión que eventualmente invadirá la frontera política (**Figura 66**). Cualquier restricción a las tasas de bombeo continuo que el derecho nacional, internacional o un acuerdo entre las dos (o más) jurisdicciones suprayacentes impongan a la extracción puede reducir la tasa de expansión del cono de depresión, pero nunca impedirá que se expanda.

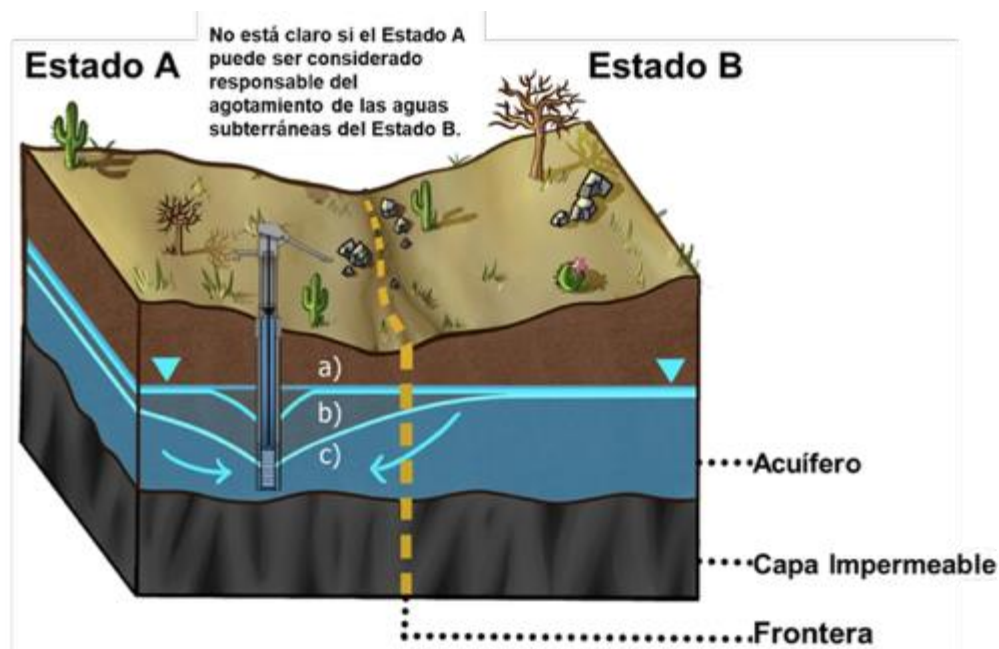


Figura 66 - El Estado A bombea desde el acuífero no recargable en su lado de la frontera en el Modelo F, como lo muestra el cono de depresión en expansión a lo largo de la sección transversal F1 en la cara frontal de esta imagen. a) Nivel freático antes de que comience el bombeo. b) Nivel freático poco tiempo después del inicio del bombeo, con el cono de depresión completamente dentro del Estado A. c) Nivel freático después de un bombeo sostenido, con el cono de depresión extendiéndose una gran distancia hacia el Estado B. Direcciones del flujo de agua subterránea en el diagrama están asociados con la condición c). Si bien el Estado A puede ser responsable del agotamiento del acuífero, incluso en el lado del acuífero del Estado B, no está claro si el Estado A puede ser considerado responsable de ese agotamiento debido a la naturaleza no recargable del acuífero.

Además, dos pozos en competencia en lados opuestos de una frontera crearán dos conos de depresión que eventualmente se superpondrán y se fusionarán. Las tasas de expansión de los conos de depresión dependerán de las tasas particulares de extracción y las propiedades hidráulicas del acuífero (**Figura 67**). En cualquiera de los escenarios, ya sea que el bombeo ocurra en uno o ambos lados de la frontera política, si las jurisdicciones suprayacentes no dejan de extraer agua subterránea, eventualmente el acuífero se agotará por completo. En consecuencia, si bien la responsabilidad por un resultado particular no debería ser difícil de asignar porque el daño transfronterizo es inevitable, determinar si se debe aplicar la responsabilidad por reparación de daños es otra cuestión. Posiblemente, cuando un estado causa un agotamiento extremo del acuífero, la responsabilidad por reparación de daños puede ser apropiada. Sin embargo, determinar dónde está la línea entre el agotamiento aceptable e inaceptable es una evaluación subjetiva que puede dejarse mejor en manos de las negociaciones en lugar de un arbitraje.

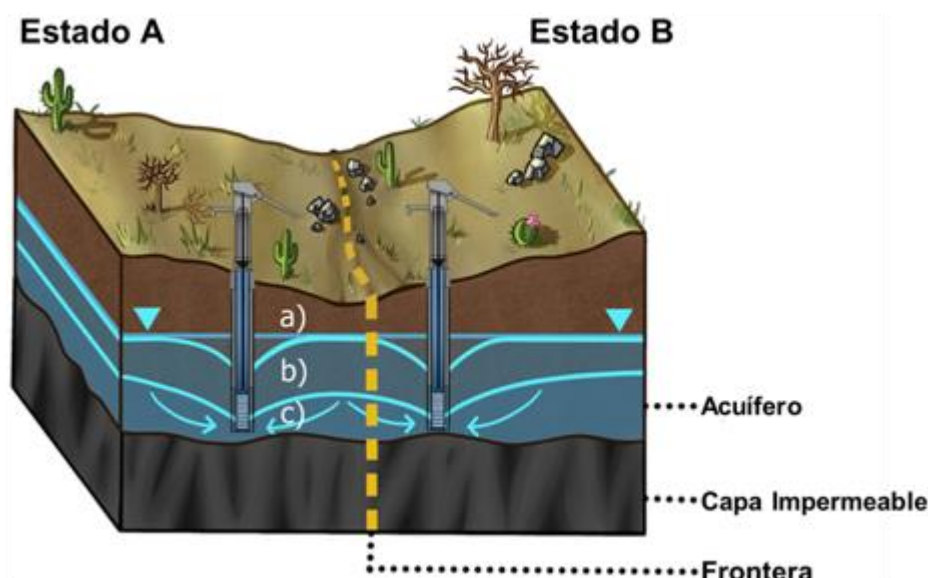


Figura 67 - El Estado A y el Estado B bombean a una tasa igual en el Modelo F, como lo muestran los conos de depresión en expansión a lo largo de la sección transversal F1 en la cara frontal de esta imagen. El pozo en el Estado A está más alejado del borde que el pozo en el Estado B. a) Nivel freático antes de que comience el bombeo. b) Nivel freático poco tiempo después del inicio del bombeo, con el cono de depresión de cada pozo que permanece completamente dentro del estado que contiene el pozo. c) Nivel freático después del bombeo sostenido, con los conos de depresión fusionándose y el agua subterránea fluyendo del Estado A al Estado B porque el pozo de bombeo del Estado B está más cerca del borde que el pozo del Estado A. Las direcciones del flujo de agua subterránea en el diagrama están asociadas con la condición (c). Si bien el Estado B puede ser responsable de hacer que el agua subterránea fluya desde debajo del Estado A hacia el pozo del Estado B y, por lo tanto, agote la sección del acuífero del Estado A, no está claro si el Estado B puede ser considerado responsable de esa conducta dado que se trata de un acuífero que no se recarga.

Otra preocupación para el acuífero no recargable representado en el Modelo F es que puede ser susceptible a la contaminación en distintas situaciones. Si se inyectan contaminantes en el acuífero a un ritmo bajo o moderado, o se encuentran contaminantes naturales en una sección del acuífero, esas impurezas permanecerán localizadas y concentradas debido a la ausencia de cualquier flujo significativo y la falta de agua dulce entrante para dilución en acuíferos no recargables (**Figura 68**). Sin embargo, una vez que se instala un pozo de extracción en el acuífero, la acción de bombeo creará un flujo artificial que puede dispersar los contaminantes a través de una parte del acuífero y también atraerlos hacia el pozo. Por lo tanto, el acuífero podría contaminarse más ampliamente si se bombea en cualquier momento después de que los contaminantes entran en contacto con el acuífero.

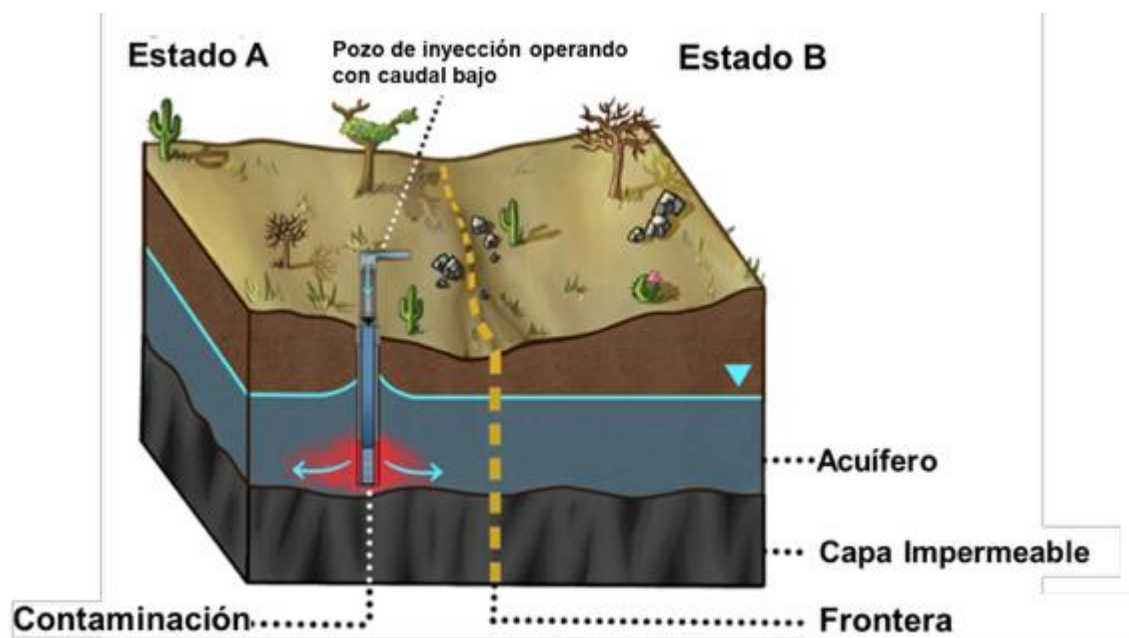


Figura 68 - El estado A introduce contaminantes en el acuífero a una tasa de inyección relativamente baja. Los contaminantes permanecen localizados alrededor del pozo y permanecen dentro del estado A, como se muestra a lo largo de la sección transversal F1 en la cara frontal de esta imagen.

Si un pozo de extracción está relativamente cerca de la contaminación, el proceso de extracción puede ayudar a eliminar la contaminación del acuífero. Sin embargo, si el pozo de extracción está ubicado en el estado vecino (no contaminante), el pozo arrastrará la contaminación a través de la frontera (**Figura 69**). Además, cuanto más lejos esté el pozo de esa fuente de contaminación, más dispersará la contaminación en el acuífero (**Figura 70**). Una vez que dichos acuíferos se contaminan, es extremadamente difícil, si no imposible, remediarlos. Además, la ausencia de recarga natural y flujo, hacia y dentro del acuífero minimiza la mayoría de los procesos de atenuación natural comunes en los acuíferos con flujo.

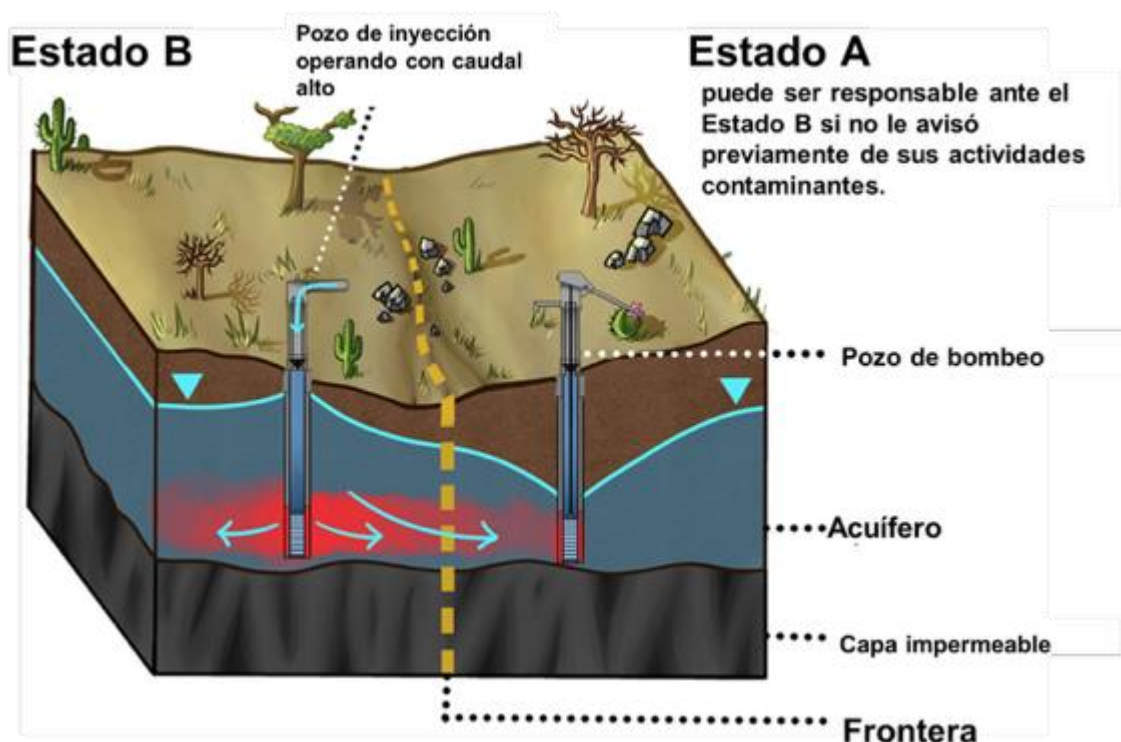


Figura 69 - El Estado A introduce contaminantes en el acuífero a un ritmo elevado y el Estado B bombea desde un pozo cercano a la frontera. Los contaminantes migran a través de la frontera hacia el Estado B debido al pozo de bombeo, pero no se dispersan ampliamente en el Estado B debido a la proximidad del pozo a la frontera, como se muestra a lo largo de la sección transversal F1 en la cara frontal de esta imagen. Si bien el Estado A puede ser responsable de introducir contaminantes en el acuífero, es el Estado B el responsable de hacer que la contaminación fluya a través de la frontera hacia el Estado B. Si el Estado A no proporcionó al Estado B un aviso previo adecuado de su inyección de contaminación, podría ser considerado responsable ante el Estado B. Sin embargo, si el Estado B conocía las actividades del Estado A y la contaminación antes de que comenzara sus extracciones, su demanda de responsabilidad contra el Estado A se debilitará significativamente.

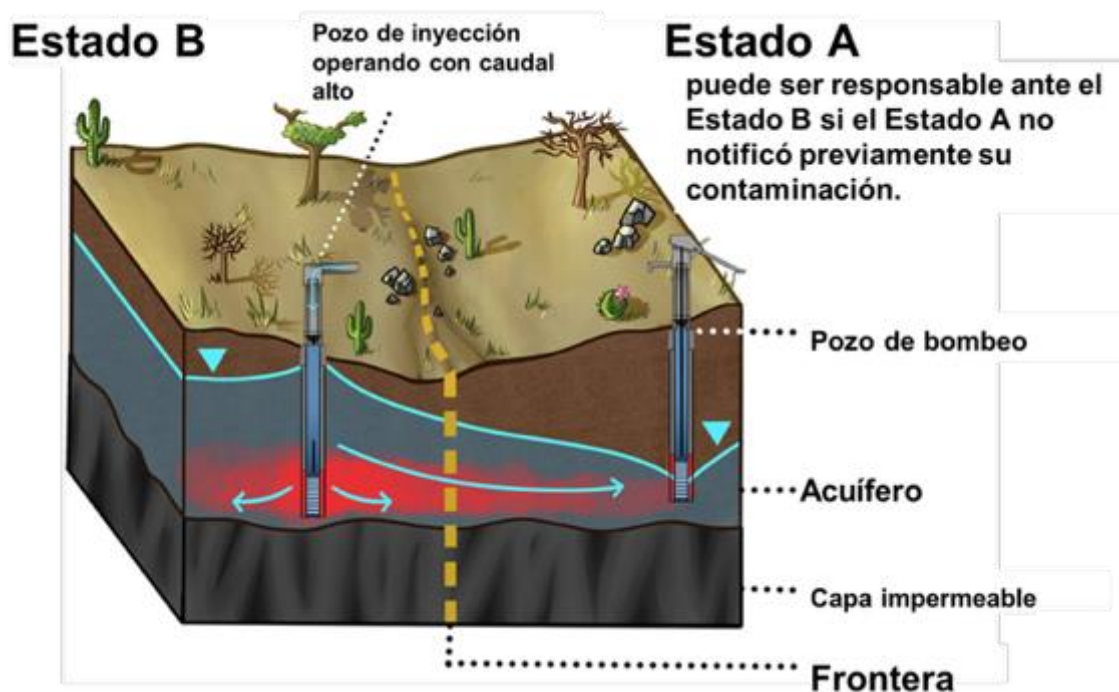


Figura 70 - El Estado A introduce contaminantes en el acuífero a un ritmo elevado y el Estado B bombea desde un pozo alejado de la frontera. Los contaminantes migran a través de la frontera hacia el Estado B y están ampliamente dispersos en el Estado B debido a la distancia del pozo a la frontera, como se muestra a lo largo de la sección transversal F1 en la cara frontal de esta imagen. Aquí se aplica el mismo análisis de responsabilidad aplicado a la **Figura 69**.

En lo que respecta a la responsabilidad de reparar daños por contaminación transfronteriza en un acuífero no recargable, cuando el Estado A introduce contaminantes en el acuífero, la ausencia de cualquier flujo significativo dejaría una contaminación localizada (**Figura 68**). A menos que esa inyección de contaminantes se hiciera justo en la frontera sabiendo que la zona contaminada localizada atravesaría el límite, no se derivaría responsabilidad por reparación de daños para el Estado A. Si el Estado B comenzara a extraer agua subterránea de su lado de la frontera provocando que la contaminación migrara a su territorio (**Figura 69** y **Figura 70**), dada su responsabilidad por ese flujo transfronterizo, el Estado A probablemente no sería considerado responsable ante el Estado B a menos que se establecieran otros factores atenuantes. Por ejemplo, si el Estado A no informara al Estado B sobre su introducción de contaminación en el acuífero, la demanda del Estado B contra el Estado A se fortalecería. Sin embargo, si el Estado B tenía conocimiento sobre la contaminación de las aguas subterráneas en el Estado A antes de comenzar sus actividades de bombeo, su demanda de responsabilidad contra el Estado A se debilitará significativamente.

El escenario representado en el Modelo F muestra un acuífero no confinado y sin recarga que atraviesa una frontera política. Estos acuíferos suelen estar ubicados en zonas áridas donde las tasas de recarga son insignificantes. Algunos ejemplos son:

- el acuífero de arenisca de Nubia (**Figura 71**) debajo de Libia, Chad, Egipto y Sudán (LaMoreaux et al., 1985; Sultan et al., 2004);

- el sistema acuífero del Sahara noroccidental (**Figura 72**) debajo de Argelia, Libia y Túnez (Gonçalvès et al., 2013); y
- el acuífero Disi (**Figura 73**), también conocido como acuífero Saq-Ram, que se encuentra debajo del sur de Jordania y el norte de Arabia Saudita (Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia Occidental (CESPAO) y Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Instituto Federal de Geociencias] y Recursos Naturales] (BGR), 2013).

Como no hay una zona de recarga ni de descarga diferenciada, salvo la evaporación del nivel freático expuesto en los oasis, el nivel freático en estos acuíferos es casi horizontal y el agua está estancada con flujo poco perceptible, con mayor frecuencia en dirección hacia los pozos existentes.

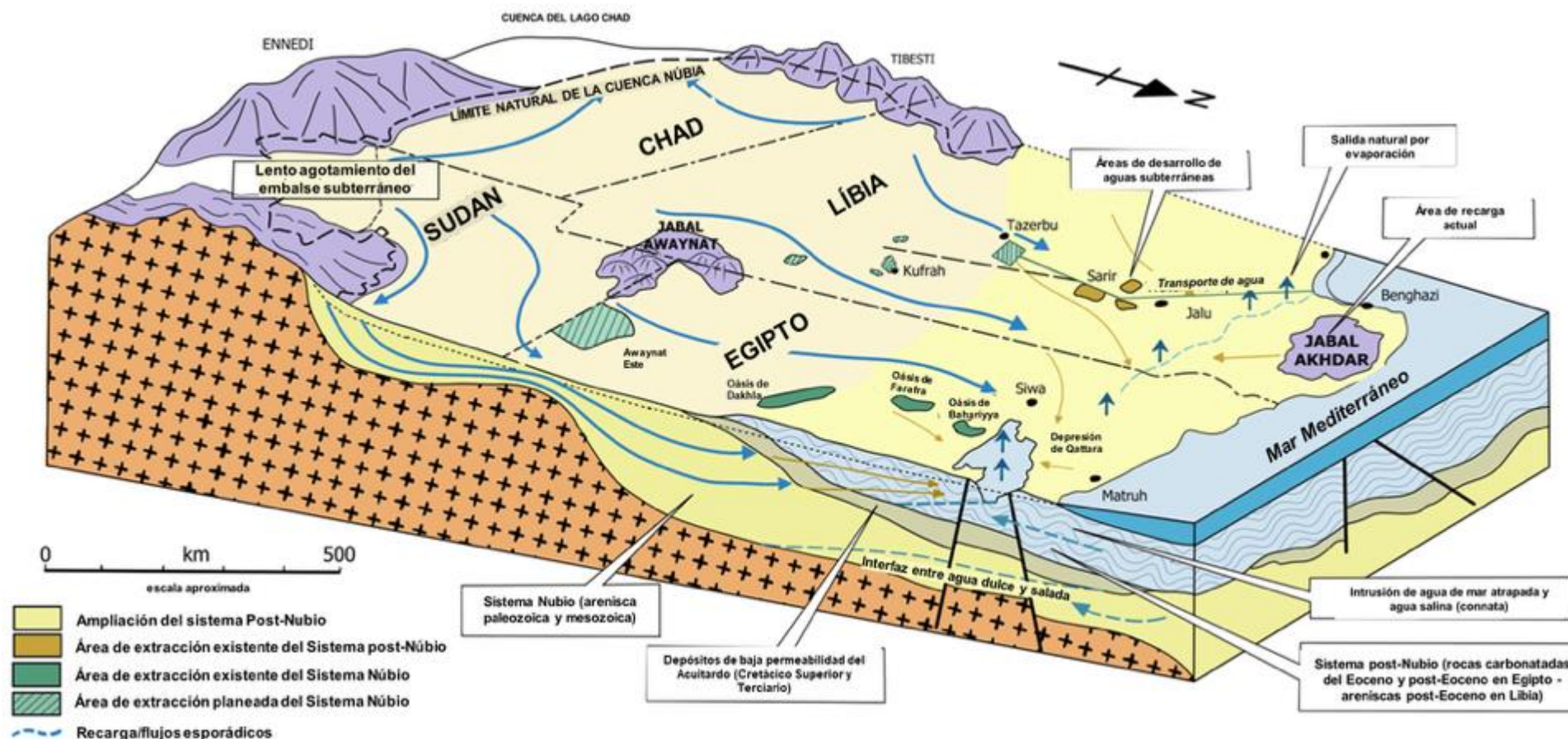


Figura 71 - El acuífero no recargable de areniscas del Nubio que se encuentra debajo de partes de Libia, Chad, Egipto y Sudán (modificado de Abdellatif y Sirag, 2015).

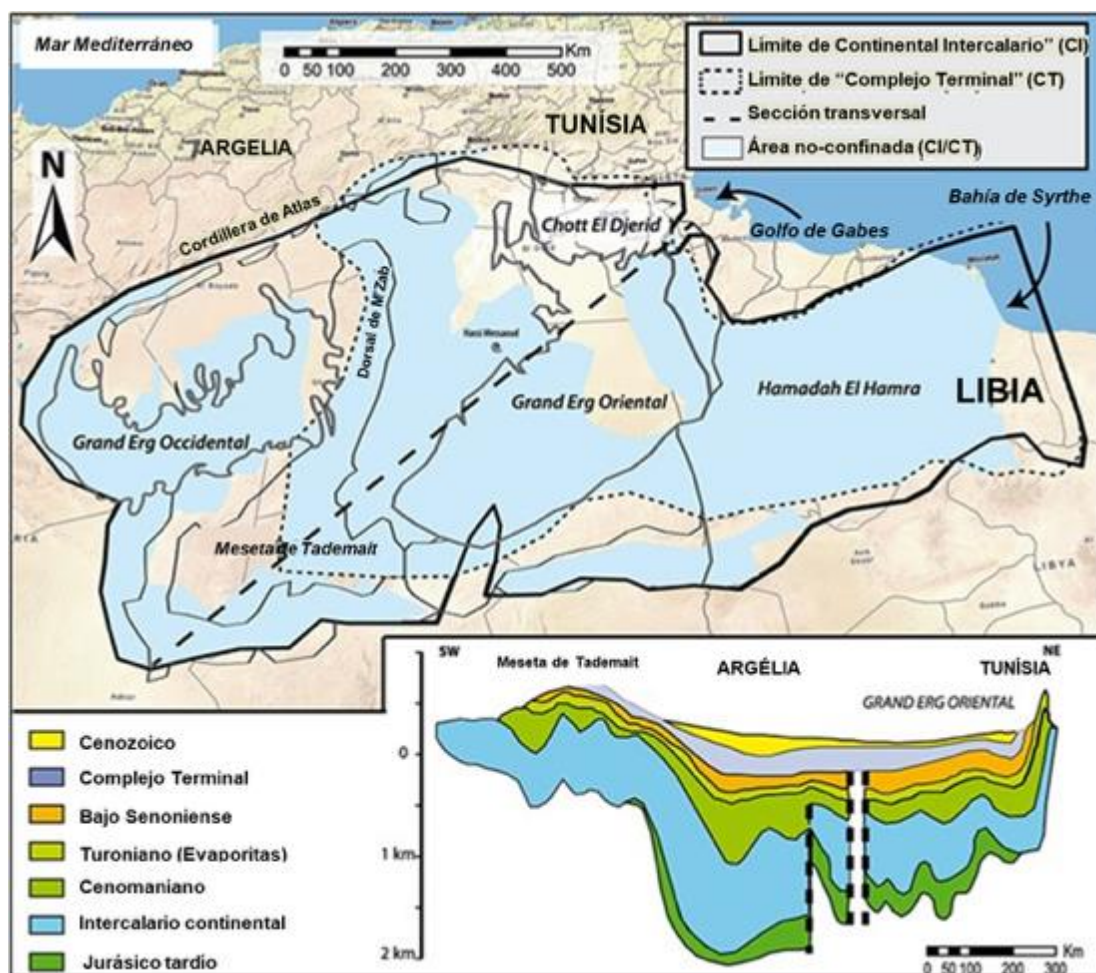


Figura 72 - El sistema acuífero no recargable del Sahara noroccidental que atraviesa las fronteras de Argelia, Libia y Túnez (reproducido de Gonçalves et al., 2013).

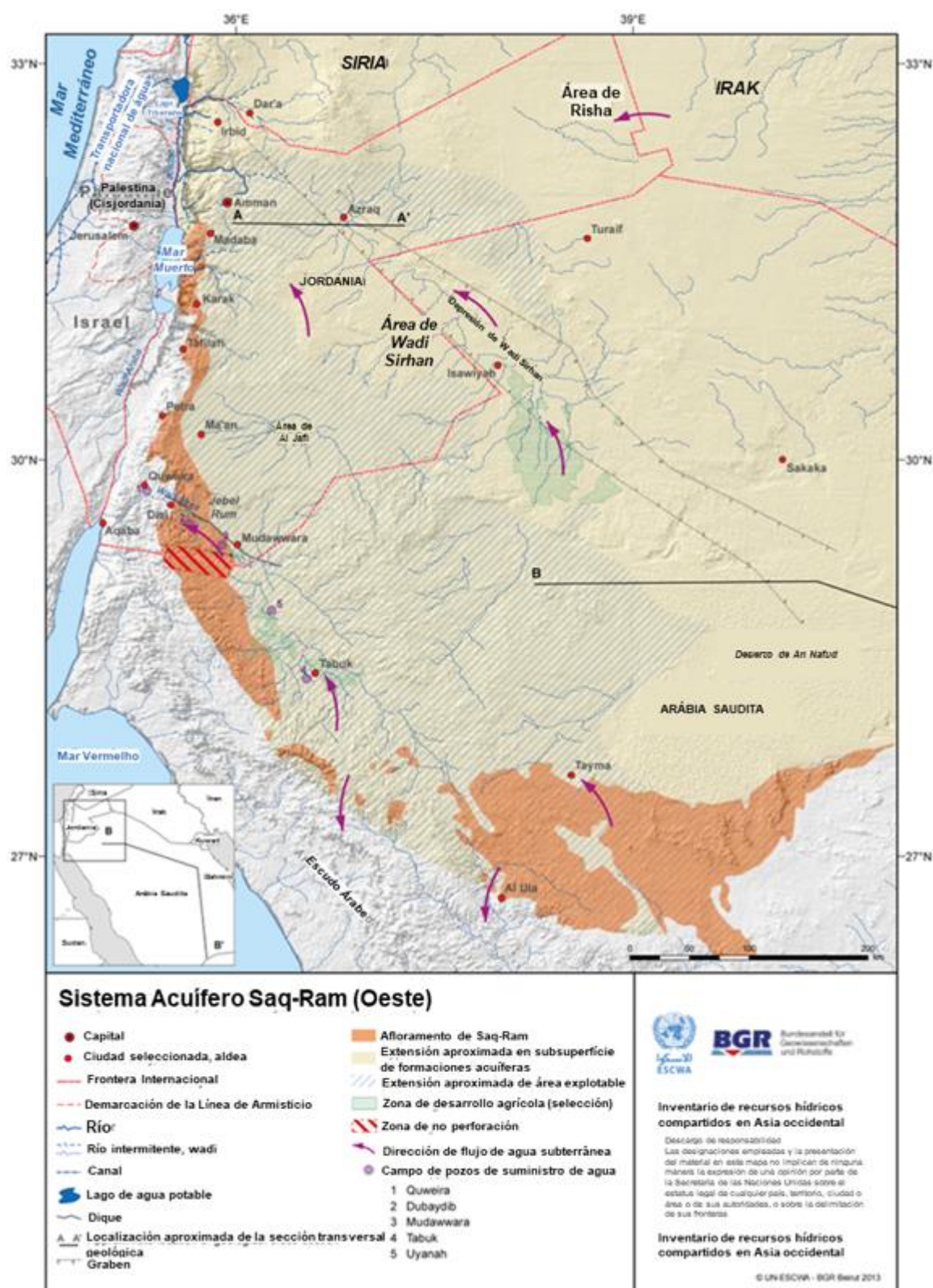


Figura 73 - El acuífero Disi, no recargable, también conocido como acuífero Saq Ram, subyacente al sur de Jordania y al norte de Arabia Saudita (reproducido de la Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia Occidental, 2013).

Algunos académicos han establecido comparaciones entre los acuíferos fósiles y congénitos con otros recursos naturales no renovables y agotables, como los depósitos de

petróleo y gas natural, y han explorado la aplicación de regímenes legales similares a los recursos renovables de agua subterránea (Caponera y Nanni, 2019; Jarvis, 2014). Sin embargo, dichas reglas suelen centrarse en maximizar la explotación del recurso en lugar de los usos que el agua subterránea puede y debe tener. De acuerdo con estas reglas, los derechos de propiedad se dividen en función de los volúmenes negociados y acordados, o en función de la capacidad del bombeador para extraer el recurso. Además, la responsabilidad por daños transfronterizos o interferencia con los derechos sobre los recursos de petróleo y gas transfronterizos del subsuelo surge principalmente en el contexto de violaciones de contratos y, ocasionalmente, por acusaciones de robo intencional de los recursos.

Si bien el enfoque de explotación de este abordaje no puede negar su relevancia y aplicabilidad a los recursos de aguas subterráneas transfronterizas, debe reconocerse que las aguas subterráneas, ya sean de recarga o no, poseen cualidades que son únicas en comparación con los depósitos de petróleo y gas. En primer lugar, el régimen de desarrollo de hidrocarburos no está diseñado para considerar los aspectos de derechos humanos, culturales y ambientales de los recursos de aguas subterráneas. Tampoco puede compensar la realidad de que, si bien los recursos energéticos como el petróleo y el gas tienen alternativas (por ejemplo, solar, eólica, hidroeléctrica, etc.), el agua no las tiene. Además, los acuíferos no recargables pueden recargarse por medios artificiales mediante pozos de inyección o infiltración o a partir del exceso de escorrentía superficial, flujos de retorno y aguas residuales tratadas. Por lo tanto, la vida de esos recursos puede extenderse de maneras que los depósitos de petróleo y gas no pueden y gestionarse de maneras que serían antieconómicas en el sector de los hidrocarburos.

La falta de experiencia en la gestión de estos recursos no renovables de manera interestatal o intraestatal ha obstaculizado el surgimiento de principios y normas pertinentes para su gobernanza. Por lo tanto, las similitudes con los depósitos de petróleo y gas presentan posibilidades atractivas para algunos. Sin embargo, dadas las disparidades señaladas en este debate, puede ser razonable sugerir que la responsabilidad por el agotamiento o la contaminación de las aguas subterráneas fósiles y congénitas transfronterizas deberían tener un alcance más amplio para dar cuenta de los aspectos no económicos de las aguas subterráneas, como los derechos humanos y las cuestiones culturales. Además, y por la misma razón, el régimen probablemente debería tener un umbral de daño e interferencia que sea más bajo que el aplicado a los depósitos de petróleo y gas transfronterizos.

5 Consideraciones Adicionales Para Determinar La Responsabilidad Y La Compensación

En lo que respecta a la atribución de responsabilidades y compensaciones por el uso y la gestión de los acuíferos que atraviesan fronteras políticas, los modelos y el análisis presentados en este libro ofrecen diversos factores y circunstancias que deben tenerse en cuenta. Ninguno de ellos es exhaustivo, especialmente porque las condiciones naturales pueden ser variables.

Por ejemplo, la relación entre un río y un acuífero puede variar a lo largo de la interfaz de esa relación. En otras palabras, un río puede ganar con un acuífero subyacente a lo largo de una sección de su curso (río efluente) y perder en otra sección (río influente). Esto puede ocurrir con el mismo acuífero o con uno diferente en función de la topografía, la geología subyacente, las precipitaciones, la permeabilidad del suelo y la conductividad hidráulica. Además, la relación de ganancia y pérdida entre un río y un acuífero subyacente está sujeta a las condiciones climáticas y puede literalmente cambiar con el tiempo, creando así un potencial para consecuencias transfronterizas intermitentes (Woessner, 2020).

De manera similar, al evaluar las condiciones de contaminación transfronteriza se deben determinar numerosos factores. Por ejemplo, la contaminación de origen natural no suele ser procesable. En otras palabras, es poco probable que prospere una demanda del Estado B contra el Estado A por Arsénico o Radio de origen natural que fluye naturalmente a través de la frontera. Esto es así tanto si el flujo es natural como si el pozo del Estado B hace que el agua contaminada de la sección del acuífero del Estado A fluya hacia el Estado B. Sin embargo, cuando la contaminación es artificial (por ejemplo, contaminantes antropogénicos), el resultado de una demanda podría depender de la dirección natural del flujo, el alcance de la actividad de bombeo, el tiempo que lleva presente la contaminación en el Estado A, el conocimiento y la notificación previos a la contaminación, las medidas de mitigación adoptadas y otros factores. Por lo tanto, cuando la contaminación antropogénica en el Estado A migra a través de la frontera en función del flujo natural del acuífero, el Estado B podría presentar una demanda contra el Estado A dependiendo de la gravedad de la contaminación.

Por otra parte, si se considera que el bombeo en el Estado B es responsable por provocar la migración de la contaminación desde la sección del acuífero del Estado A al Estado B, se podría argumentar que la demanda de responsabilidad del Estado B debería ser rechazada. No obstante, esto dependerá de varias normas jurídicas relacionadas con el conocimiento previo del Estado A sobre los contaminantes en su territorio, el conocimiento del Estado B sobre la contaminación en el Estado A, si el Estado A proporcionó al Estado B una advertencia adecuada de la situación y cualquier esfuerzo que ambos Estados hayan podido realizar para mitigar la posible migración transfronteriza de los contaminantes. Este es el tema del [Ejercicio 2](#).

6 Conclusión

Las aguas subterráneas y los acuíferos transfronterizos, tanto a nivel nacional como internacional, se están convirtiendo en fuentes cada vez más críticas de agua dulce para las comunidades en todo el mundo. Al mismo tiempo, la extracción excesiva, la contaminación, el cambio climático y otras actividades antropogénicas están poniendo en peligro muchos de estos recursos. Como resultado, los responsables de las políticas y las partes interesadas en diversos niveles de la sociedad civil están buscando ahora reglas y normas para su gobernanza con el fin de salvaguardar los recursos en el futuro. Muchos intentan comprender las responsabilidades legales y posibles responsabilidades por reparación de daños que pueden surgir de los impactos transfronterizos resultantes del uso y la explotación de estos tesoros del subsuelo. Esto está ocurriendo tanto a nivel internacional entre dos o más naciones soberanas que se superponen a un acuífero común, como a nivel nacional entre dos o más unidades políticas subnacionales.

La realidad es que la ley aplicable a los recursos de aguas subterráneas transfronterizos en ambos niveles de gobernanza está en una etapa inicial. Además de esto, establecer la responsabilidad y la compensar en el contexto de los recursos de aguas subterráneas transfronterizos puede ser una tarea bastante compleja que requiere que los responsables de las políticas tengan un conocimiento especializado de la ciencia de las aguas subterráneas. No obstante, a medida que las naciones y las unidades políticas subnacionales continúan expandiendo su dependencia en los acuíferos transfronterizos, será necesario desarrollar principios y normas que estén basados en ciencia robusta y que se fundamenten en una comprensión del valor distintivo del agua subterránea para las personas y el medio ambiente.

7 Ejercicios

En los próximos dos ejercicios, la tarea consiste en considerar los siguientes tres ítems:

1. identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos;
2. caracterizar estas circunstancias en términos de responsabilidad y/o posible compensación por los daños generados; y
3. considerar acciones en las que las partes individuales puedan evitar la responsabilidad por daños.

Ejercicio 1 – El Acuífero Libre De Leo

Como se muestra en la imagen que acompaña este ejercicio, los estados de Byakko, Dawon y Maahes se encuentran sobre partes del acuífero Leo. No hay cuerpos de agua superficial significativos en la región, excepto durante una inundación repentina ocasional.

- El acuífero Leo es principalmente un acuífero no confinado.
- Byakko y Dawon son jurisdicciones áridas y reciben muy poca precipitación, de modo que cualquier lluvia se evapora rápidamente y rara vez se infiltra en el suelo para llegar al acuífero Leo subyacente.
- La principal fuente de recarga del acuífero Leo se encuentra en las elevaciones más altas de la región, que se encuentra principalmente en la nación semiárida de Maahes.
- Debido a las características de la formación del acuífero, así como al terreno dentro de Maahes, Maahes tiene muy pocas oportunidades de utilizar el acuífero dentro de su territorio de una manera que sea económica o significativa.
- El flujo general de agua subterránea dentro del acuífero es hacia el sur, en dirección al Mar Infinito, donde se descarga el acuífero. La velocidad del flujo es relativamente lenta y el agua que se infiltra en Maahes puede tardar entre 500 y 1.000 años en llegar al Mar Infinito.

Dawon ha estado bombeando agua a lo largo de su frontera occidental durante los últimos diez años para uso en el creciente sector de manufactura. La tasa de extracción ha reducido el nivel freático en las proximidades del campo de pozos y ha provocado que el agua subterránea fluya hacia el campo de pozos en un radio de 50 km (≈ 31 millas) alrededor del campo de pozos.

Byakko y Dawon tienen varios oasis únicos cerca de su frontera que se alimentan de manantiales donde la formación del acuífero aflora en la superficie. El bombeo de agua subterránea de Dawon ha afectado el flujo de agua hacia y dentro de los oasis y ha reducido el alcance geográfico de los mismos. Como resultado, la vida silvestre que habitaba en los oasis, incluidas las aves migratorias, se ha visto afectada negativamente. Los grupos

ambientalistas de las tres naciones han expresado sus preocupaciones a ambos gobiernos sin tener éxito, a pesar de que el estado de Byakko parece estar mucho más preocupado por los oasis que el estado de Dawon.

Los suministros de agua subterránea alrededor de la capital de Byakko, Byakko City, han sido contaminados por la infiltración de agua de mar. Ante esto, Byakko planea desarrollar un campo de pozos al norte de la región de su oasis. El impacto de este plan es desconocido, pero los hidrogeólogos de Dawon están preocupados de que pueda afectar negativamente al campo de pozos en Dawon y reducir las tasas de extracción de Dawon. Los grupos ambientalistas tanto en Byakko como en Dawon están muy preocupados por el impacto que el nuevo campo de pozos tendrá sobre los oasis ya estresados.

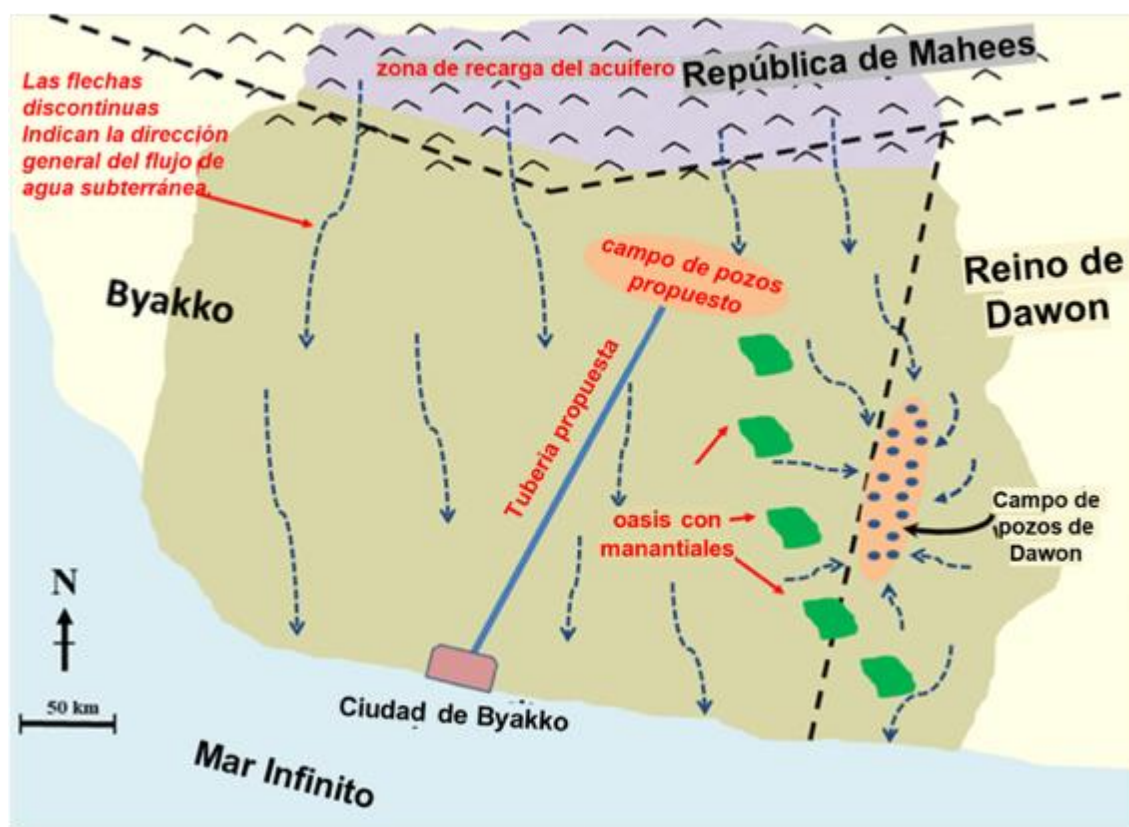
Byakko planea comenzar la construcción del campo de pozos y la tubería de transmisión en aproximadamente cuatro meses.

Para satisfacer su creciente población y demanda de alimentos, Maahes ha comenzado a expandir las técnicas de cultivo en terrazas en laderas que sus habitantes han estado utilizando durante generaciones. Como parte de esa expansión, Maahes ha comenzado a implementar dos técnicas modernas.

1. Para aumentar la productividad agrícola, Maahes ha introducido fertilizantes y pesticidas.
2. Para que haya más agua disponible para fines agrícolas, ha construido numerosas pequeñas presas y estanques de retención de agua con fondo impermeabilizado para evitar fugas.

Aunque no se han realizado estudios, muchas comunidades del norte de Byakko, así como algunas de Dawon, se han quejado del empobrecimiento de la calidad y cantidad de sus aguas subterráneas y acusan a Maahes de causar ese deterioro.

Individualmente, ninguno de los Estados tiene recursos adecuados para realizar estudios técnicos sobre el acuífero, su caudal y la calidad del agua. La siguiente imagen muestra un mapa para este ejercicio.



Mapa para el ejercicio 1. [50 km ≅ 31 millas]

La solución del Ejercicio 1 se presenta en tres partes:

1. El campo de pozos de Dawon a lo largo de su frontera occidental,
2. El plan de Byakko para desarrollar un campo de pozos al norte de su región de oasis, y
3. Las prácticas agrícolas de Mahe.

Para cada uno de estos escenarios, se pide al lector que realice tres tareas:

- a) identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos,
- b) caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños, y
- c) considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

[Solución del ejercicio 1](#) ↴

[Volver al texto vinculado al ejercicio 1](#) ↴

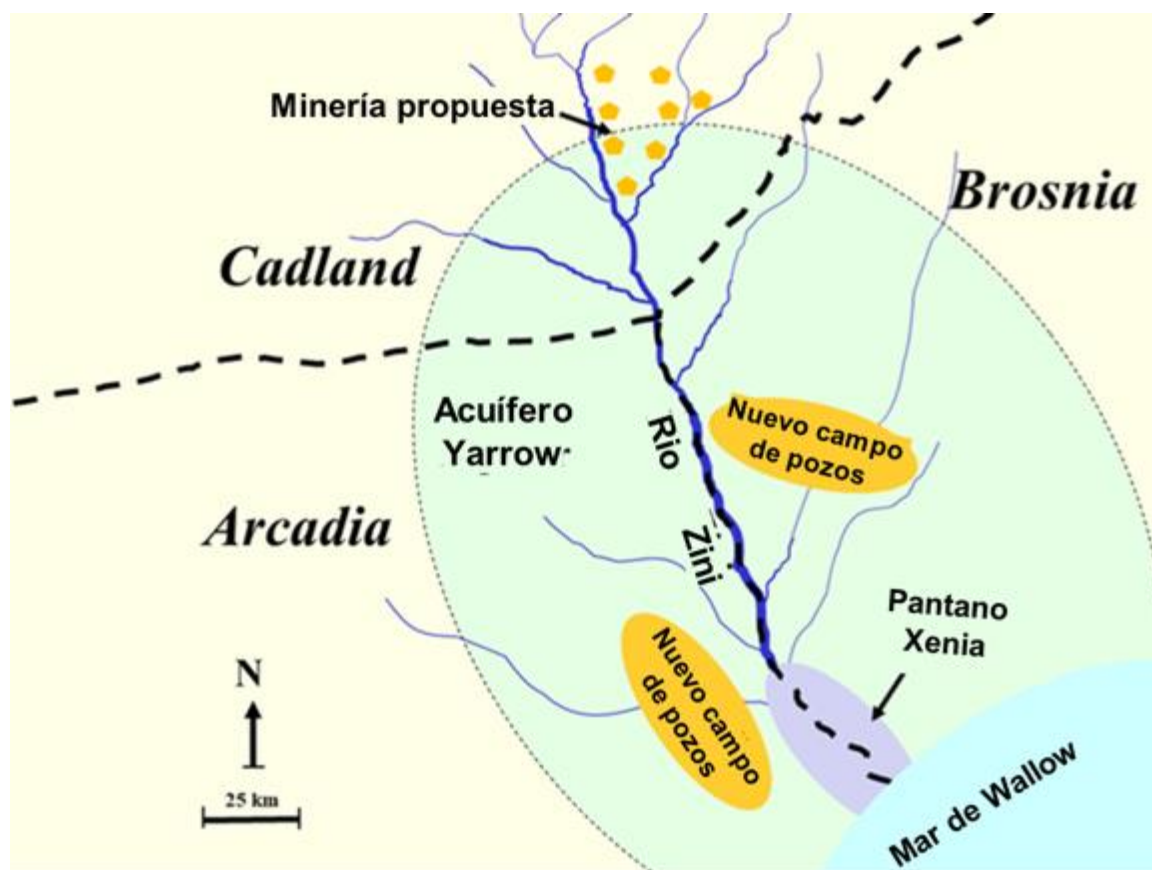
Ejercicio 2 – El Río Zini y el Acuífero Yarrow

Como se muestra en la imagen que acompaña este ejercicio, partes de los estados de Arcadia, Brosnia y Cadland se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica del río Zini. Los tres también superponen partes del acuífero Yarrow.

- El acuífero Yarrow, cuya extensión geográfica y límites aún no se han identificado por completo, es principalmente un acuífero no confinado.
- El punto central del río Zini sirve como límite entre Arcadia y Brosnia desde la región de la triple frontera hasta el mar Wallow.
- El río y el acuífero están vinculados hidrológicamente. En los tramos superiores de la cuenca hidrográfica, el Zini es un río efluente; en algún lugar cerca de la región de la triple frontera, el Zini cambia a un río influente en el clima más árido; luego, justo por encima de su último afluente, el río Zini se convierte en un río efluente al ingresar al pantano Xenia justo antes de desembocar en el mar Wallow.
- El pantano Xenia es un punto de parada para millones de aves migratorias, incluidas algunas que se consideran amenazadas debido a la pérdida de hábitat en otros países lejanos, donde pasan la mitad del año.
- El clima de la región es semiárido y las precipitaciones se producen principalmente a finales del invierno. El resto del año es relativamente caluroso y seco, aunque las temperaturas son más moderadas en Cadland, que se encuentra a una mayor altitud. La cantidad de lluvia que cae en la región varía de un año a otro y, a menudo, es impredecible.
- Cadland se encuentra en el extremo inferior de la escala de clasificación de *ingresos medianos bajos* del Banco Mundial; tanto Arcadia como Brosnia se encuentran en el medio de la escala de clasificación de *ingresos medianos altos* del Banco.

Debido a su topografía y mayor abundancia relativa de agua superficial, Cadland está más interesado en desarrollar el río Zini y sus afluentes dentro de su territorio. Una de las prioridades de Cadland es expandir su industria minera. La actividad minera requiere volúmenes considerables de agua para lavar el mineral, y Cadland tiene intención de utilizar el río para su flujo de retorno. Sin embargo, los grupos ambientalistas de Arcadia y Brosnia han planteado preocupaciones sobre la contaminación del agua y están movilizándolo a sus gobiernos para dialogar con Cadland sobre este tema.

Arcadia y Brosnia acaban de comenzar a desarrollar campos de pozos que bombean desde el acuífero Yarrow dentro de sus respectivos territorios. Ambos estados necesitan el agua para expandir sus sectores agrícolas y alimentar a su creciente población. La siguiente imagen proporciona un mapa para este ejercicio.

Mapa del ejercicio 2 [25 km $\cong$ 16 millas]

La solución del Ejercicio 2 se presenta en dos partes:

1. La emergente industria minera de Cadland, y
2. Los yacimientos de pozos de Arcadia y Brosnia.

Para cada uno de estos escenarios, se pide al lector que realice tres tareas:

- a) identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos;
- b) caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños, y;
- c) considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

[Solución del Ejercicio 2](#) ↓

[Volver al texto vinculado al Ejercicio 2](#) ↓

8 Referencias

- Abdellatif, M. M., & Sirag, N. M. (2015). Proposal sites for spent fuel disposal in Egypt by using GIS program. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2725–2733.
<https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0405011>.
- Anderson, T. W. (1995). *Summary of the southwest alluvial basins, regional aquifer-system analysis, south-central Arizona and parts of adjacent states, regional aquifer-system analyses - southwest alluvial basins, Arizona and adjacent states* (Professional Paper 1406-A). US Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/pp/1406a/report.pdf>.
- Arias, H. M. (2000). International groundwaters: The Upper San Pedro River Basin case. *Natural Resources Journal*, 40(2), 199–221.
<https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1635&context=nri>.
- Bouwer, H. (1978). *Groundwater hydrology*. McGraw-Hill.
- British Columbia (BC) Ministry of Environment (n.d.). *Abbotsford-Sumas Aquifer International Task Force*. BC Ministry of Environment.
https://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/aquifers/absu_mas.html.
- Caccese, R. T., & Fowler, L. B. (2020). Reasonable use?: The challenges of transboundary groundwater regulation in the eastern US. *Journal of the American Water Resources Association*, 56(3), 379–386. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12840>.
- Canadian River Basin Map. (2022, September 19). In *Wikipedia*.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canadian_River_basin_map.png.
- Caponera, D. A., & Nanni, M. (2019). *Principles of water law and administration* (3rd ed.). Routledge.
- Eckstein, G. (2017). *The international law of transboundary groundwater resources*. Routledge.
<https://goo.gl/ouHqoz>.
- Eckstein, G., & Eckstein, Y. (2003). A hydrogeological approach to transboundary groundwater resources and international law. *American University International Law Review*, 19(2), 201–258.
<https://digitalcommons.wcl.american.edu/auilr/vol19/iss2/1/>.
- Eckstein, G., & Hardberger, A. (2008). State practice in the management and allocation of transboundary groundwater resources in North America. *Yearbook of International Environmental Law*, 18(1), 96–125.
<https://scholarship.law.tamu.edu/facscholar/582>.
- Eckstein, Y., & Eckstein, G. (2005). Transboundary aquifers: Conceptual models for development of international law. *Groundwater*, 43(5), 679–690.

- <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.00098.x>.
- Ellis, J. H., Mashburn, S. L., Graves, G. M., Peterson, S. M., Smith, S. J., Fuhrig, L. T., Wagner, D. L., & Sanford, J. E. (2017). *Hydrogeology and simulation of groundwater flow and analysis of projected water use for the Canadian River alluvial aquifer, western and central Oklahoma* (Scientific Investigations Report 2016-5180). US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/sir20165180>.
- European Commission. (2007). *Common implementation strategy for the Water Framework Directive: Guidance Document Number 16: Guidance on groundwater in drinking water protected areas* (Technical Report-2007-010). Luxemburg Office for the Official Publications of the European Commission. <https://circabc.europa.eu/sd/a/aef48d98-7715-4828-a7ee-df82a6df4afb/Guidance%20No%2016%20-%20Groundwater%20in%20DWPAs.pdf>.
- Flint, A. L., Jennifer, L. E., Curtis, J. A., & Buesch, D. C. (2011). *A Preliminary Water Balance Model for the Tigris and Euphrates River System*. USGS. https://ca.water.usgs.gov/projects/reg_hydro/projects/Flint_water-balance-model-tigris-euphrates_2011.pdf.
- Food & Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). (2008). *AQUASTAT country profile - Iraq*. FAO. <https://www.fao.org/3/ca0340en/CA0340EN.pdf>.
- Foster, S., Hirata, R., Vidal, A., Schmidt, G., & Garduño, H. (2009). *The Guarani Aquifer initiative - Towards realistic groundwater management in a transboundary context* (Sustainable Groundwater Management Series, GW-MATE). The World Bank. <https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/GWMATE%20case%20profile%20-%20Guarani.pdf>.
- Gonçalvès, J., Petersen, J., Deschamps, P., Hamelin, B., & Baba-Sy, O. (2013). Quantifying the modern recharge of the “fossil” Sahara aquifers. *Geophysical Research Letters*, 40(11), 2673–2678. <https://doi.org/10.1002/grl.50478>.
- Hall, N. D., & Cavataro, B. L. (2013). Interstate groundwater law in the Snake Valley: Equitable apportionment and a new model for transboundary aquifer management. *Utah Law Review*, 2013(1553), 1626. <https://digitalcommons.wayne.edu/lawfrp/419/>.
- Hall, N. D., & Regalia, J. (2016). Interstate groundwater law revisited: Mississippi v. Tennessee. *Virginia Environmental Law Journal*, 34(152), 203. <https://digitalcommons.wayne.edu/lawfrp/467/>.
- Hayton, R., & Utton, A. E. (1989). Transboundary ground waters: The Bellagio Draft Treaty. *Natural Resources Journal*, 29, 663. <https://digitalrepository.unm.edu/nrj/vol29/iss3/4/>.

- Hebard, E. M. (2000). A focus on a binational watershed with a view toward fostering a cross-border dialogue. *Natural Resources Journal*, 40(2), 281–340.
<https://www.jstor.org/stable/24888640> ↗.
- Hibbs, B. J., Darling, B. K., & Jones, I. C. (1998). Hydrogeological regimes of arid-zone aquifers beneath low-level radioactive waste and other waste repositories in Trans-Pecos, Texas and northern Chihuahua, Mexico. In J. V. Brahana, Y. Eckstein, L. K. Ongley, R. Schneider, & J. E. Moore (Eds.), *Gambling with groundwater: Physical, chemical and biological aspects of aquifer-stream relations* (pp. 311–322). Proceedings of the Joint Meeting of the XXVIII Congress of the International Association of Hydrogeologists.
- International Boundary and Water Commission (IBWC). (1998). *Transboundary Aquifers and Binational Ground Water Database for the City of El Paso/Ciudad Juárez Area*. [IBWC https://www.ibwc.gov/wp-content/uploads/2023/07/Transboundary_Aquifers_Binational_GWD_EP_CJA.pdf](https://www.ibwc.gov/wp-content/uploads/2023/07/Transboundary_Aquifers_Binational_GWD_EP_CJA.pdf) ↗.
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2021). *Transboundary aquifers of the world* [map]. Scale 1 : 50 000 000. IGRAC. https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/TBAMap_2021_0.pdf ↗.
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of Africa* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-africa-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of Asia and Oceania* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-asia-and-oceania-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary Aquifers of Europe* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-europe-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of central and southern America* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-central-and-southern-america-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre IGRAC). (2022). *Transboundary aquifers of North America* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-north-america-map-2022>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). (2022). *Transboundary Aquifers of the Middle East* [map]. IGRAC. <https://www.un-igrac.org/resource/transboundary-aquifers-middle-east-map-2022>
- International Law Association. (1964). *Report of the forty-eighth conference*. In M. M. Whiteman (Ed.), *Department of State Digest of International Law*. HeinOnline, 3.

- (Reprinted from "Report of the forty-eighth conference," 1958, International Law Association).
- <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.ilarc/ilarc1958&div=1&src=home>↗.
- Jarvis, T. W. (2014). *Contesting hidden waters: Conflict resolution for groundwater and aquifers*. Routledge.
- Kemper, K. E., Mestre, E., & Amore, L. (2003). Management of the Guarani aquifer system: Moving towards the future. *Water International*, 28(2), 185–200.
- <https://doi.org/10.1080/02508060308691684>↗.
- LaMoreaux, P. E., Memon, B. A., & Idris, H. (1985). Groundwater development, Kharga Oases, western desert of Egypt: A long-term environmental concern. *Environmental Geology and Water Science*, 7, 129–149. <https://doi.org/10.1007/BF02528797>↗.
- Mansour, M. M., Peach, D. W., Hughes, A. G., & Robins, N. S. (2012). Tension over equitable allocation of water: estimating renewable groundwater resources beneath the West Bank and Israel. *Geological Society, London, Special Publications*, 362(January), 355–361. <https://doi.org/10.1144/SP362.20>↗.
- Mijatovic, B. F. (1998). Prevention of over-exploitation of deep aquifers in Vojvodina, northern Yugoslavia. In J. V. Brahana, Y. Eckstein, L. K. Ongley, R. Schneider, & J. E. Moore (Eds.), *Gambling with groundwater: Physical, chemical and biological aspects of aquifer-stream relations*. Proceedings of the Joint Meeting of the XXVIII Congress of the International Association of Hydrogeologists.
- Mississippi v. Tennessee et al., 143, Orig. U.S. 1 (2021).
- https://www.supremecourt.gov/opinions/21pdf/143orig_1qm1.pdf↗.
- Mukherjee, A., Scanlon, B., Aureli, A., Langan, S., Guo, H., & McKenzie, A. (2021). Global groundwater: from scarcity to security through sustainability and solutions. In A. Mukherjee, B. Scanlon, A. Aureli, S. Langan, H. Guo, & A. McKenzie (Eds.), *Global groundwater: Source, scarcity, sustainability, security, and solutions* (pp. 3–20). Elsevier.
- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818172-0.00001-3>↗.
- Mumme, S. P. (1988). *Apportioning groundwater beneath the U.S.-Mexico border: Obstacles and alternatives* (Research Report Series number 45). Center for U.S.-Mexican Studies.
- <https://lccn.loc.gov/88623404>↗.
- Oklahoma Water Resources Board. (2012a). *Oklahoma comprehensive water plan: Executive report*. <https://journalrecord.com/wp-files/ocwp-executive-rpt-final.pdf>↗.
- Oklahoma Water Resources Board. (2012b). *Oklahoma comprehensive water plan: Lower Arkansas watershed planning region report* (Version 1.1).
- https://www.owrb.ok.gov/supply/ocwp/pdf_ocwp/WaterPlanUpdate/regionalreports/OCWP_LowerArkansas_Region_Report.pdf↗.

- Renken, R. A. (1998). *Ground water atlas of the US - Segment 5: Arkansas, Louisiana, Mississippi* (Hydrologic Investigations Atlas 730-F). US Geological Survey.
<https://pubs.usgs.gov/ha/730f/report.pdf>.
- Rodriguez, L. L. (2022a). Map of the geographic extent of the transboundary Hueco Bolson, Conejos Medanos Messilla Bolson, Red Light Draw, and Rio Grande aquifers underlying the US and Mexico border.
- Rodriguez, L. L. (2022b). Map showing Mexico-USA border area where in the late 1960s, Mexico installed wells just south of the border near the town of San Luis reversing the natural flow of groundwater so that it flowed southward into Mexico.
- Rodriguez, L. L. (2022c). Map of the geographic extent of the transboundary Pedro Basin Aquifer.
- Rodriguez, L. L. (2022d). Map of the geographic extent of the transboundary Mimbres aquifer.
- Ryder, P. D. (1996). *Ground water atlas of the US: Segment 4 - Oklahoma, Texas* (Hydrologic Investigations Atlas 730-E). US Geological Survey.
<https://pubs.usgs.gov/ha/730e/report.pdf>.
- Sultan, M., Manocha, N., Becker, R., & Sturchio, N. (2004). Paleodrainage networks of the Nubian aquifer system revealed from SIR-C and SRTM data. *American Geophysical Union (AGU) Spring Meeting, May 2004* (Abstract H31C-03). AGU.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004AGUSM.H31C..03S>.
- Sydykov, G. S., & Veselov, V.V. (1993). Water ecological situation changes of the Aral Sea Basin under the influence of intensive agricultural development. In Y. Eckstein & A. Zaporozec (Eds.), *Proceedings of Industrial and Agricultural Impacts on the Hydrologic Environment: The Second USA/CIS Joint Conference on Environmental Hydrology and Hydrogeology*. Water Environment Federation.
- Tujchneider, O., Perez, M. A., Paris, M. C., & D'Elia, M. P. (2003, November). The Guarani aquifer system: A resource shared by four countries. In *Geological Society of America Annual Meeting, Seattle, November 2-5, 2003*, Paper No. 67-11, Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 35, no. 6, p. 198
- United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (UN-ESCWA) & Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Federal Institute for Geosciences and Natural Resources] (BGR). (2013). Saq-Ram Aquifer System (West). In *Inventory of Shared Water Resources in Western Asia* (pp. 297-316). Beirut.
https://www.unescwa.org/sites/default/files/pubs/pdf/e_escwa_sdpd_13_inventor_y_e.pdf.
- United Nations General Assembly (UNGA). (2022). Resolution on the Law of Transboundary Aquifers. *Journal of the United Nations, A/RES/77/112*.

<https://undocs.org/Home/Mobile?FinalSymbol=A%2FRES%2F77%2F112&Language=E&DeviceType=Desktop&LangRequested=False>↗.

United Nations General Assembly (UNGA). (2008). Resolution on the Law of Transboundary Aquifers. *Journal of the United Nations*, A/RES/63/124.

http://internationalwaterlaw.org/documents/intldocs/UNGA_Resolution_on_Law_of_Transboundary_Aquifers.pdf↗.

United Nations International Law Commission. (2008). *Draft articles on the Law of Transboundary Aquifers*. United Nations.

https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/draft_articles/8_5_2008.pdf↗.

Woessner, W. W. (2020). *Groundwater-surface water exchange*. The Groundwater Project. <https://gw-project.org/books/groundwater-surface-water-exchange/>↗.

9 Solución de los ejercicios

Al responder a estas preguntas, los lectores deben tener en cuenta que no existen respuestas absolutamente correctas o incorrectas. Las cuestiones de responsabilidad y reparación por daños conforme a la ley (tanto el derecho nacional como el derecho internacional) están sujetas a umbrales por debajo de los cuales la responsabilidad puede o no ser atribuida. Así, quienes argumentan una violación de la ley deben demostrar que el impacto transfronterizo es de tal magnitud que se caracteriza el nexo necesario para establecer la responsabilidad de reparar el daño. Además, la decisión sobre si se ha superado el umbral (por ejemplo, estableciendo que el daño es *significativo* o que el uso no es *equitativo*) suele ser situacional y depende de los hechos específicos de cada caso. Por lo tanto, si bien un cierto nivel de contaminación puede ser procesable en un escenario (como una cuenca de flujo lento, donde la dispersión y reducción de las concentraciones son limitadas), puede no serlo en otra situación (como una cuenca de flujo rápido), donde la dispersión y reducción de concentraciones son significativas.

Además, las cuestiones de umbral a menudo dependen de la capacidad de los abogados para convencer al tribunal de su posición y de la receptividad de ese tribunal a tales argumentos. Cuando se trata de abogados, aunque algunos pueden tener antecedentes y experiencias similares, sus habilidades de defensa, su conocimiento de la ciencia de las aguas subterráneas, su comprensión de los hechos y las consecuencias y otros factores pueden variar significativamente. En cuanto a los tribunales, aunque se espera que sean imparciales, cada juez aporta sus experiencias y conocimientos únicos de la ciencia, el derecho y la vida, lo que puede dar lugar a diferentes perspectivas sobre dónde se encuentra el umbral en un caso específico.

Por lo tanto, las siguientes respuestas son sólo ejemplos y no representan toda la gama de circunstancias con potencial de impactos transfronterizos, alegaciones de posible responsabilidad que las partes podrían plantear, o acciones que podrían adoptarse para evitar la obligación de reparar los daños.

Solución al Ejercicio 1

Esta solución al Ejercicio 1 se presenta en tres partes:

1. El campo de pozos de Dawon a lo largo de su frontera occidental,
2. El plan de Byakko para desarrollar un campo de pozos al norte de su región de oasis, y
3. Las prácticas agrícolas de Maahe.

Para cada uno de estos escenarios, se pidió al lector que realizara tres tareas:

- a) identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos,
- b) caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños, y
- c) considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de los daños.

1. El campo de pozos de Dawon a lo largo de su frontera occidental

a) Identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos.

- El campo de pozos de Dawon a lo largo de su frontera occidental parece tener un impacto transfronterizo, ya que la extracción de agua está provocando un desvío de agua subterránea en un radio de 50 km (≈ 31 millas) en dirección hacia el campo de pozos. Esto incluye la dirección de Byakko, donde los flujos de agua subterránea se están desviando de su camino natural debido a la extracción. Además, los hechos sugieren que los oasis en Byakko se están viendo afectados negativamente, por ejemplo, con una reducción en su extensión geográfica e impactos en la fauna nativa.

b) Caracterizar estas circunstancias en términos de potencial responsabilidad y/u responsabilidad por reparación de daños.

- La extracción de agua de Dawon podría ser la base para una demanda de Byakko contra Dawon, argumentando que:
 - Dawon está extrayendo más agua subterránea de la que le corresponde del acuífero compartido, especialmente debajo de Byakko; y/o
 - La extracción de agua de Dawon está causando daños a Byakko.
- Algunas de las cuestiones jurídicas que podrían plantearse sobre la definición de responsabilidad y el eventual deber de reparar los daños incluyen cuanta es la cantidad de agua subterránea a la que tiene derecho cada nación; qué estándar deberá usarse para evaluar la equidad en la distribución del agua subterránea de un acuífero compartido; y qué estándar y umbral deberá usarse para evaluar si han habido daños por la extracción de agua de Dawon.

- Sin embargo, dependiendo de cómo se aborden estas cuestiones, la responsabilidad no implicará necesariamente la necesidad de reparar el daño. Dawon puede ser considerado responsable de causar un impacto a Byakko, pero no se le puede exigir que lo repare a menos que ese impacto exceda el umbral específico de la norma que se aplica.
 - Por ejemplo, Dawon no puede ser considerado responsable por violar el estándar legal internacional de uso equitativo y razonable —si un tribunal determina la relevancia de ese estándar para el caso— a menos que los factores utilizados para evaluar ese estándar establezcan que la extracción de agua por Dawon fue injusta e irracional.
 - Del mismo modo, Dawon puede no ser considerado responsable de reparar por causar un daño significativo —si un tribunal determina la relevancia de esa norma para el caso— a menos que el tribunal determine que los daños causados a Byakko, el segmento del acuífero subyacente a Byakko, al agua subterránea en Byakko, y a los oasis en Byakko y su vida silvestre excedieron el umbral *significativo* o cualquier otro umbral que el tribunal determine que es el estándar pertinente.

c) considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

- La cooperación suele ser el medio principal para que las partes eviten la responsabilidad por el daño causado. Si las partes acuerdan ciertas acciones, cualquier resultado negativo de esas acciones (al menos en teoría) podría incorporarse y reconocerse en el acuerdo de cooperación.
 - Por ejemplo, las partes podrían acordar que la actual extracción de agua por parte de Dawon, que provoca un flujo transfronterizo de aguas subterráneas, es aceptable y no constituye una violación del derecho internacional.
 - O podrían acordar que Dawon reduzca su extracción de agua en una cierta cantidad para disminuir los impactos transfronterizos negativos en Byakko. Por supuesto, esto tendría un impacto negativo en la extracción de Dawon, pero esto se consideraría en el acuerdo de cooperación.
 - De manera similar, las partes podrían cooperar en estudios para comprender mejor el impacto transfronterizo de la extracción de agua de Dawon. Incluso podrían aceptar que Dawon suministre agua a la ciudad de Byakko, en lugar de desarrollar un nuevo campo de pozos en Byakko.
- La clave es que las partes cooperen para definir acciones y responsabilidades de manera que se establezcan estándares aceptables de cooperación, se acuerde las

acciones que cada Estado debe tomar y, en última instancia, se evite la responsabilidad por daños.

2. El plan de Byakko para desarrollar un campo de pozos al norte de su región de oasis.

a) Identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos.

- El campo de pozos Byakko propuesto parece ser una preocupación para Dawon, ya que sus hidrogeólogos sugieren que la extracción de agua podría impactar negativamente la productividad del campo de pozos de Dawon. Aunque todavía no hay estudios de impacto, una simple revisión del mapa sugiere que es posible que el campo de pozos Byakko propuesto pueda desviar agua subterránea del campo de pozos Dawon. Además, el campo de pozos propuesto también podría afectar a los oasis en ambos países.

b) Caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños.

- Considerando el impacto potencial en Dawon, el análisis presentado en la respuesta sobre el impacto transfronterizo en la pregunta 1b) también se aplicaría de manera similar a esta situación.
- Sin embargo, las cuestiones de equidad, razonabilidad, umbral de daño y otros estándares serían diferentes en el escenario presentado, ya que ambas naciones estarían bombeando y utilizando el acuífero, generando efectos transfronterizos.
- En cuanto al impacto en los oasis localizados completamente dentro de Byakko el asunto caería bajo la jurisdicción nacional y las leyes internas de Byakko y, por lo tanto, no estaría sujeto a reclamos bajo el derecho internacional. En cuanto al posible impacto en los oasis de Dawon, si bien Dawon podría presentar una denuncia válida según el derecho internacional, se vería atenuada por la realidad de que el bombeo de Dawon también afecta negativamente a los oasis.

c) Considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de los daños.

- Como se mencionó en la respuesta sobre el impacto transfronterizo del campo de pozos de Dawon, un acuerdo sobre actividades y responsabilidades podría evitar la responsabilidad de reparar o compensar daños para ambas naciones.
- A través de estos acuerdos, las naciones pueden decidir qué se consideraría un impacto transfronterizo negativo aceptable; por ejemplo, responsabilidad sin obligación de reparar o compensar. Además, puede ser beneficioso combinar esfuerzos cooperativos para incluir las cuestiones y preocupaciones relacionadas

con el campo de pozos existente de Dawon y el campo de pozos propuesto por Byakko.

3. Prácticas agrícolas de Maahes

a) Identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos.

- Las acciones de Maahes tienen el potencial de generar dos tipos diferentes de impacto transfronterizo:
 - En primer lugar, el uso de fertilizantes y pesticidas modernos por parte de Maahes en la zona de recarga del acuífero puede tener efectos negativos en la calidad del agua que fluye a través del acuífero. Sin duda, esto dependerá de la cantidad y los tipos de productos químicos utilizados en sus prácticas agrícolas, así como de la capacidad del acuífero para diluir estos productos químicos. Sin embargo, ya han surgido quejas tanto en Byakko como en Dawon.
 - En segundo lugar, la construcción por parte de Maahes de varias pequeñas presas y embalses de retención de agua con fondos impermeables para evitar fugas es una acción con posibles consecuencias transfronterizas. La implicación aquí es que al retener agua en Maahes, el país está reduciendo la recarga de los acuíferos, lo que disminuye la disponibilidad de agua aguas abajo.

b) Caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños.

- En relación con las acciones de Maahes, tanto el impacto en la calidad como en la cantidad del agua estarían sujetos al mismo análisis discutido en la parte 1(b). Sin embargo, así como ese análisis explicó que las cuestiones de equidad, razonabilidad, umbrales de daño y otros estándares se adaptarían a escenarios específicos, lo mismo se aplica aquí.
- Por lo tanto, en el caso de supuestos impactos transfronterizos en la calidad del agua, incluso si Byakko, Dawon o un tribunal los reconocieran como contaminación transfronteriza, esto no sería automáticamente juzgado como un uso no equitativo, irrazonable y/o que causa daños significativos. De hecho, habría que evaluar las circunstancias del uso de fertilizantes y pesticidas modernos por parte de Maahes, como la necesidad de expandir sus actividades agrícolas, el impacto de esta actividad, las alternativas a los fertilizantes y pesticidas modernos, entre otros factores. Esto también ocurriría en relación con las circunstancias del uso del acuífero por parte de Byakko y Dawon, por ejemplo, la calidad del agua subterránea en relación con los usos deseados, entre otros aspectos. En cuanto a los posibles impactos sobre la cantidad de agua en Byakko y Dawon, se aplicaría el mismo análisis adaptado.

- Una complicación que surgiría en este caso se refiere al hecho de que Maahes no está utilizando el acuífero directamente y, según los hechos, no puede hacer un uso económico o significativo del agua subterránea del acuífero. De hecho, el problema radica en las actividades de Maahes en la zona de recarga. Por lo tanto, este no es un caso en el que las partes puedan simplemente asignar un volumen de agua a cada país. Además, es un caso en el que otros campos del derecho internacional pueden ser relevantes, como el derecho ambiental internacional y el derecho de la responsabilidad del Estado, ambos fuera del alcance de este libro.

c) Considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

- Nuevamente, la cooperación es esencial para manejar estos escenarios y minimizar la responsabilidad. Considerando que las consecuencias transfronterizas de las acciones de Maahes no han sido investigadas y que ningún Estado individual tiene los recursos para explorar esta situación, tal vez las partes podrían colaborar en un estudio. Por supuesto, es posible que a Maahes no le entusiasme conocer los resultados de este estudio. Por lo tanto, puede ser del interés de Byakko y Dawon explorar otras alternativas para apoyar los objetivos agrícolas de Maahes.
- Los acuerdos internacionales no necesitan centrarse exclusivamente en un solo tema. De hecho, las negociaciones entre naciones a menudo incorporan cuestiones y temas que, a primera vista, tienen poco que ver entre sí (por ejemplo, mayores flujos de entrada a un tramo transfronterizo de un río a cambio de menores restricciones al comercio transfronterizo en otro tramo fronterizo).

[Volver al ejercicio 1](#) ↑

[Regresar a donde el texto enlaza con el Ejercicio 1](#) ↑

Solución Al Ejercicio 2

La respuesta al Ejercicio 2 se presenta en dos partes:

1. La industria minera emergente de Cadland, y
2. Los campos de pozos Arcadia y Brosnia.

Para cada uno de estos escenarios, se pidió al lector que realizara tres tareas:

- a) Identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos;
- b) Caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños
- c) Considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

1. La emergente industria minera de Cadland

a) Identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos.

- La propuesta de Cadland de expandir su industria minera ciertamente podría ser una fuente de conflicto legal con sus vecinos aguas abajo. Sin embargo, uno de los desafíos en este escenario es que Cadland sólo tiene "planes de expandir" su industria minera pero aún no lo ha hecho. Como resultado de ello, las acciones de Cadland aún no han tenido ningún impacto transfronterizo. Está claro que Arcadia y Brosnia no querían esperar a que el daño se manifieste para presentar sus reclamaciones; sin embargo, tendrían que establecer la probabilidad de que sufrirían daños transfronterizos derivados de las acciones propuestas por Cadland, de tal magnitud que resultaría en responsabilidad por reparación de daños para Cadland. Este podría ser un obstáculo difícil de superar: la probabilidad de que los daños ocurran.
- En cualquier caso, suponiendo que Arcadia y Brosnia puedan hacer tales afirmaciones, las acciones propuestas por Cadland podrían potencialmente resultar en cuatro impactos transfronterizos distintos aguas abajo sobre la calidad del agua y cuatro sobre la cantidad de agua. El primer impacto relacionado con la calidad del agua se produce en el campo de pozos recientemente desarrollado en Brosnia.
 - En este tramo, justo debajo de la triple frontera, el río Zini es un río influyente, es decir, alimenta el acuífero adyacente. Por lo tanto, cualquier contaminante que se encuentre en el río probablemente se transferirá al acuífero y al campo de pozos de Brosnia, contaminando así el agua subterránea que Brosnia bombea.
 - No obstante, el alcance de la contaminación en estas aguas subterráneas dependerá del tipo y la cantidad de contaminación minera que Cadland vierte al río Zini en su territorio, la capacidad del río Zini para diluir estos contaminantes antes de llegar a la región de la triple frontera, y de la

capacidad de purificación del acuífero para eliminar los contaminantes restantes en el agua que fluye desde el río Zini al acuífero y luego al campo de pozos de Brosnia.

- El primer impacto relacionado con la cantidad de agua también se produce en el nuevo campo de pozos de Brosnia. Justo debajo de la triple frontera, el río Zini es un río influyente, por lo que cualquier reducción en el caudal del río podría reducir el volumen de agua que se infiltra desde el Zini al acuífero. Esto, a su vez, podría reducir el nivel freático en este acuífero predominantemente libre y disminuir el volumen de agua disponible para Brosnia en su nuevo campo de pozos.
 - Por lo tanto, incluso si la calidad del agua no se viera afectada, todavía podría haber preocupación sobre la cantidad de agua para Brosnia.
- El segundo posible impacto transfronterizo aguas abajo sobre la calidad del agua tiene que ver con el nuevo campo de pozos Arcadia. En este tramo del río Zini, el río es un curso de agua efluente. Sin embargo, a medida que el campo de pozos de Arcadia se desarrolla, por su cercanía al río Zini, es posible que el bombeo pueda revertir este flujo, transformándolo en un curso de agua influyente, es decir, perdiendo agua hacia el acuífero dentro del área de influencia del campo del pozo.
 - Si esto ocurre, cualquier contaminante presente en el río puede transferirse al acuífero y a las bombas Arcadia.
 - Considerando que esta sección está más abajo en comparación con el campo de pozos de Brosnia, es posible que el impacto sea menor que el impacto en el campo de pozos de Brosnia. El alcance del impacto dependerá de factores similares a los identificados para el campo de pozos de Brosnia.
- Un segundo impacto sobre la cantidad de agua, aunque menos probable, podría afectar negativamente el campo de pozos Arcadia. Conceptualmente, es posible que el bombeo en Arcadia pueda transformar el río Zini de un río efluente a un río influyente dentro del área de influencia del campo de pozos, pero que a futuro se vería afectado por un flujo reducido en el río Zini debido a las actividades mineras de Cadland.
 - Esto dependerá de la tasa de extracción de agua subterránea por parte de Arcadia en su campo de pozos, el grado en que el bombeo de Arcadia altere el régimen de flujo del río Zini y el grado en que las actividades de Cadland reduzcan el flujo de agua en el río Zini.
- El tercer posible impacto relacionado con la calidad del agua se encuentra en el pantano de Xenia, donde el deterioro de la calidad del agua debido a las actividades mineras de Cadland podría tener un impacto negativo sobre la fauna única del pantano.
 - El alcance del impacto dependerá de la cantidad y tipo de contaminación minera que Cadland vierta al río Zini en su territorio, la capacidad del río Zini para diluir estos contaminantes antes de llegar al pantano de Xenia y la

capacidad del pantano para absorber estos contaminantes sin impactar negativamente la vida silvestre. Los pantanos y otras áreas húmedas generalmente tienen cierta capacidad para absorber y diluir ciertos contaminantes.

- De manera similar, las actividades mineras de Cadland podrían reducir la cantidad de agua que llega al pantano de Xenia y, por lo tanto, afectar negativamente a la fauna del pantano. El alcance del impacto dependerá de cuánto las actividades de Cadland puedan reducir el flujo de agua que llega al pantano.
- En el ejemplo hipotético no se destacaron impactos adicionales sobre la calidad y cantidad del agua, pero se pueden deducir de los hechos. El tramo del río Zini ubicado justo debajo de la triple frontera podría experimentar cierto grado de degradación de la calidad del agua y reducción de la cantidad de agua debido a las actividades mineras de Cadland. Por lo tanto, todos los usuarios del río podrían verse afectados en diferentes grados.

b) Caracterizar esas circunstancias en términos de responsabilidad potencial y/o responsabilidad por reparación de daños

- Tanto Arcadia como Brosnia pueden tener reclamaciones por calidad y cantidad de agua contra Cadland por los efectos aguas abajo de sus actividades mineras. Si sus campos de pozos, o cualquier segmento aguas abajo del río Zini, efectivamente se ven afectados por las actividades de Cadland, ambos podrían afirmar que:

1) Cadland está tomando más agua del río de la que justamente le corresponde; y

2) La minería de Cadland está causando daños transfronterizos a ambas naciones aguas abajo.

- Algunas de las cuestiones jurídicas que pueden surgir en términos de definir la responsabilidad y reparar los daños incluyen: cuánta agua subterránea y fluvial tiene derecho a utilizar cada nación, qué estándar debería utilizarse para evaluar la equidad en la asignación de agua subterránea del acuífero compartido de una nación y agua de un río compartido, y qué estándar y umbral deberían usarse para evaluar si las actividades de Cadland han causado o es probable que resulten en daños.
- Dependiendo de cómo se aborden estas cuestiones, la responsabilidad puede no equivaler a una obligación de reparar el daño. Cadland puede ser considerado responsable del impacto en una o ambas naciones aguas abajo, pero no se le puede exigir que repare o compense esos impactos a menos que exceda el umbral específico para la norma que se aplica.
 - Así, por ejemplo, Cadland puede no ser responsable de violar el estándar legal internacional de uso justo y razonable —si un tribunal determina la

relevancia de ese estándar para el caso — a menos que los factores utilizados para evaluar ese estándar establezcan que las extracciones de agua de Cadland fueron inequitativas y poco razonables en relación con los derechos equivalentes de Arcadia y Brosnia.

- Del mismo modo, Cadland puede no ser responsable de causar un daño significativo —si un tribunal determina la relevancia de ese estándar para el caso— a una o ambas naciones aguas abajo, a menos que el tribunal determine que el daño causado (por ejemplo, Arcadia y/o Brosnia, el segmento del acuífero subyacente a una o ambas naciones aguas abajo, el agua subterránea en Arcadia y/o Brosnia, el pantano de Xenia y su fauna, etc.) excedió el umbral *significativo*, o cualquier umbral que el tribunal determine que es el estándar pertinente.

c) Considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

- Dado que las acciones de Cadland relacionadas con su industria minera aún se encuentran en la etapa de propuesta, sería aconsejable que Arcadia y Brosnia entablen un diálogo con Cadland para buscar un acuerdo que pueda minimizar los futuros impactos.
 - Por lo tanto, Arcadia y Brosnia podrían intentar negociar con Cadland sobre sus planes y objetivos, explorar si existen alternativas a los planes de Cadland, identificar mecanismos que podrían minimizar futuros impactos y discutir cómo Arcadia y/o Brosnia podrían interactuar con Cadland para alcanzar sus respectivos objetivos e intereses.
 - Además, podrían acordar un umbral de impacto aguas abajo que sería aceptable para las partes y que no genere reclamaciones de responsabilidad.
- Todo esto puede parecer obvio y posiblemente de interés para todas las partes. Sin embargo, debido a que cada nación tiene derecho a su soberanía dentro de su territorio respectivo y debido a que el derecho internacional es una función de la política internacional, tales negociaciones y diplomacia son al mismo tiempo críticas y desafiantes.

2. Yacimientos de Arcadia y Brosnia

a) Identificar circunstancias que tienen el potencial de generar impactos transfronterizos.

- Como un asunto completamente a parte, los nuevos campos de pozos tanto en Arcadia como en Brosnia podrían tener impactos negativos aguas abajo en el río Zini y el pantano Xenia.
 - Aunque el campo de pozos de Brosnia se encuentra en el segmento afluente del río, dependiendo de su tasa de extracción, Brosnia podría acelerar el flujo de agua desde el río hacia el acuífero y hacia su campo de pozos. Esto

reduciría el volumen de agua aguas abajo y el flujo de agua hacia el Pantano de Xenia.

- De manera similar, dependiendo de su tasa de extracción, si Arcadia revierte la relación de corriente ganadora del río Zini dentro del área de influencia de su campo de pozos y la convierte en una relación perdedora, también podría afectar el volumen de agua que llega al pantano de Xenia a través del río Zini.

b) Caracterizar estas circunstancias en términos de potencial responsabilidad y/u responsabilidad por reparación de daños.

- Tanto Brosnia como Arcadia podrían tener demandas mutuas por posibles impactos sobre el pantano de Xenia. Además, debido a que el campo de pozos de Brosnia está más arriba que el de Arcadia, es posible que Arcadia pueda tener un reclamo contra Brosnia por reducir el flujo de agua en el río Zini aguas arriba del pantano.
- De manera similar a los argumentos contra Cadland, las dos naciones podrían afirmar que cada una está tomando más de lo que le corresponde del agua del río al desviarla a través de sus respectivos campos de pozos, y que el resultado es un daño transfronterizo.
 - En cuanto a la cuestión de los daños, en el caso de la reclamación de Arcadia, esta podría argumentar que Brosnia causó daños tanto al tramo inferior del río Zini como al pantano en su lado de la frontera, mientras que Brosnia probablemente sólo podría argumentar que Arcadia causó daños al pantano de su lado de la frontera, basándose en el mapa proporcionado con el ejemplo hipotético.
 - Por supuesto, si hechos adicionales indican que el bombeo de Arcadia está agotando significativamente el río Zini aguas arriba del pantano de Xenia, Brosnia puede tener una reclamación contra Arcadia por el impacto en la cantidad de agua en el río Zini.
 - Todo esto dependerá del alcance de la extracción en cada país y su impacto en el río Zini y el pantano.
- Al abordar estas temáticas, los mismos aspectos jurídicos mencionados anteriormente (por ejemplo, el derecho a utilizar el agua, los estándares para evaluar la equidad en la asignación del agua, el estándar y el umbral para evaluar los daños) aplicarían igualmente aquí, aunque en relación con los hechos específicos y el contexto de estas denuncias.

c) Considerar acciones en las que las partes individuales podrían evitar la responsabilidad por reparación de daños.

- Como se sugirió para la relación entre Arcadia y Brosnia y su vecino aguas arriba, Cadland, Arcadia y Brosnia podrían entablar una cooperación mutua en relación con sus respectivos objetivos e intereses relacionados con la expansión de la producción de agua, la gestión del río Zini, que forma la frontera y la gestión de la Ciénaga de Xenia, que comparten. Esto podría incluir el intercambio de datos, el seguimiento, proyectos conjuntos y otras acciones colaborativas.
- El punto clave, una vez más, es lograr que las partes cooperen para definir acciones y responsabilidades de manera que establezcan estándares aceptables de cooperación, acuerden las acciones que cada Estado tomará y, en última instancia, eviten tener que reparar o compensar los daños.

[Volver al ejercicio 2](#) ↑

[Regresar a donde el texto enlaza con el Ejercicio 2](#) ↑

10 Sobre los Autores



Gabriel Eckstein es un experto reconocido internacionalmente en derecho y políticas internacionales, y en agua y medio ambiente, con más de 30 años de experiencia en consultoría, docencia e investigación en estas áreas. En la Universidad Texas A&M, se desempeña como profesor de derecho ↗ y director del Programa de Derecho de Sistemas de Energía, Medio Ambiente y Recursos Naturales ↗ de la facultad de derecho. El Dr. Eckstein asesora regularmente a agencias de la ONU, gobiernos nacionales y subnacionales, ONGs y otros grupos en cuestiones internacionales y de los Estados Unidos relacionadas con agua y medio ambiente. Se ha desempeñado como presidente de la Asociación Internacional de Recursos Hídricos ↗ y actualmente es miembro del consejo ejecutivo de la Asociación Internacional de Derecho del Agua ↗, editor asociado de Brill Research Perspectives: International Water Law ↗ y miembro del consejo editorial de The Journal of Water Law ↗. El Dr. Eckstein tiene un doctorado en derecho y una maestría en derecho ambiental internacional, una maestría en asuntos internacionales y una licenciatura en geología.



Yoram Eckstein era un experto reconocido internacionalmente en hidrogeología, geotermia y contaminación de aguas subterráneas con más de 50 años de experiencia en consultoría, docencia e investigación en estos campos. Antes de jubilarse en 2013, fue profesor de geología en la Universidad Estatal de Kent, presidente y científico jefe de la firma consultora Eckstein & Associates, y editor asociado de *Water International* y el *Journal of Hydrogeology*. Posteriormente, trabajó durante un año como Profesor Titular Fulbright de hidrogeología en la Universidad Politécnica de Tomsk, Tomsk, Rusia. Previamente el Dr. Eckstein trabajó como geólogo senior en el Servicio Geológico de Israel. Hablaba con fluidez y publicaba profesionalmente en cuatro idiomas (inglés, polaco, ruso y hebreo) y tenía un doctorado de la Universidad Hebrea de Jerusalén. Falleció en junio de 2020.

11 Sobre la Traductora



Dayana Chalá es una hidrogeóloga con investigaciones enfocadas en implementar marcos conceptuales integrados durante la modelación numérica de intrusión salina y de procesos de subsidencia en acuíferos costeros. Actualmente hace parte de la firma consultora [INTERA, Inc](#) y es miembro de la asociación internacional de aguas ([IWA](#)). La Dra. Chalá es experta en modelación de fenómenos de transporte de solutos en acuíferos costeros y residuos radioactivos en zona vadosa. La Dra. Chalá lideró proyectos para el fortalecimiento de la resiliencia de acuíferos costeros de la ciudad de Cartagena, y recibió financiación por parte del Ministerio de Ciencias de Colombia. Fue galardonada en varias ocasiones como líder emergente de las Américas, a través del programa ELAP financiado por Universidades Canadienses (Canadian Universities) y recibió la beca Queen Elizabeth Advanced Scholars en 2018. Realizó tres estancias doctorales en la Universidad Metropolitana de Toronto (Toronto Metropolitan University). La Dra. Chalá publica con fluidez en Español y en Inglés, obtuvo su doctorado en la Universidad de Cartagena, Colombia y se ha desempeñado como docente y asesora de estudiantes de maestría y doctorado. Además, ha apoyado la formación de futuros profesionales investigadores a través del programa [Ondas](#) del Ministerio de Ciencias de Colombia.

Considere suscribirse a la lista de correo del Proyecto GW para mantenerse informado sobre nuevos lanzamientos de libros, eventos y maneras de participar. Cuando se registra en nuestra lista de correo electrónico, nos ayuda a construir una comunidad global de aguas subterráneas. [Regístrate](#).[↗].

