

La actividad antrópica, un aspecto clave en la contaminación geogénica de arsénico en las aguas subterráneas



Javier Lillo

Departamento de Biología, Geología, Física y Química Inorgánica

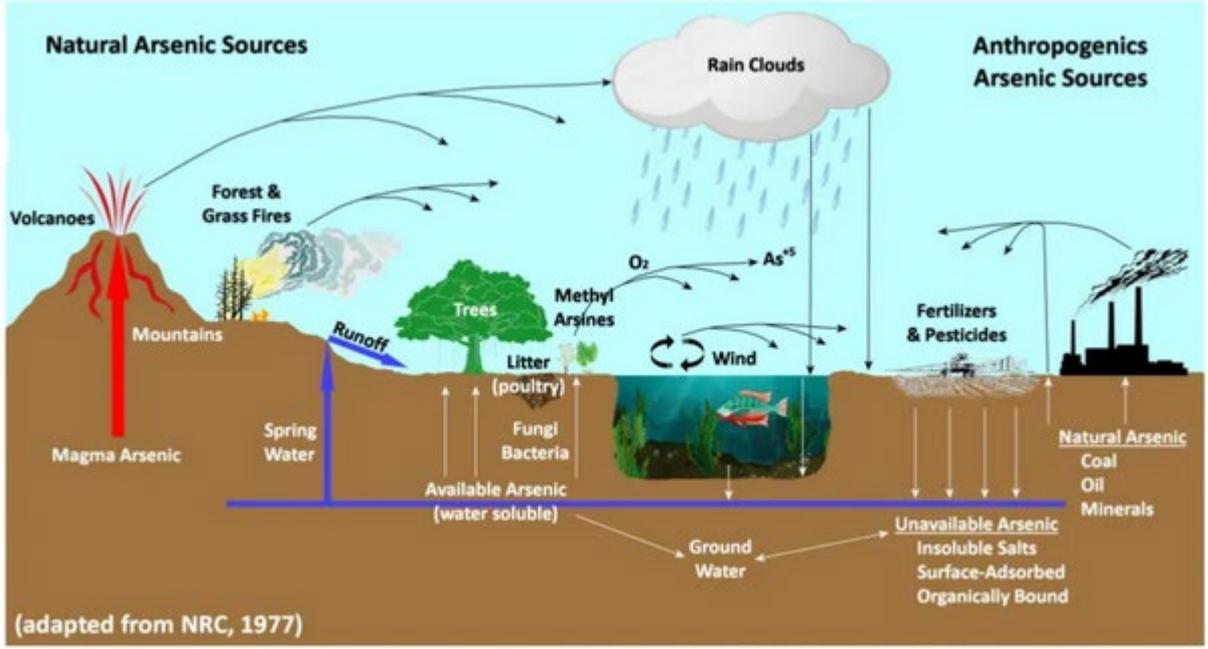


V JORNADA DE PROMOCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN BÁSICA PARA ESTUDIANTES DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

7 Y 8 DE SEPTIEMBRE 2021

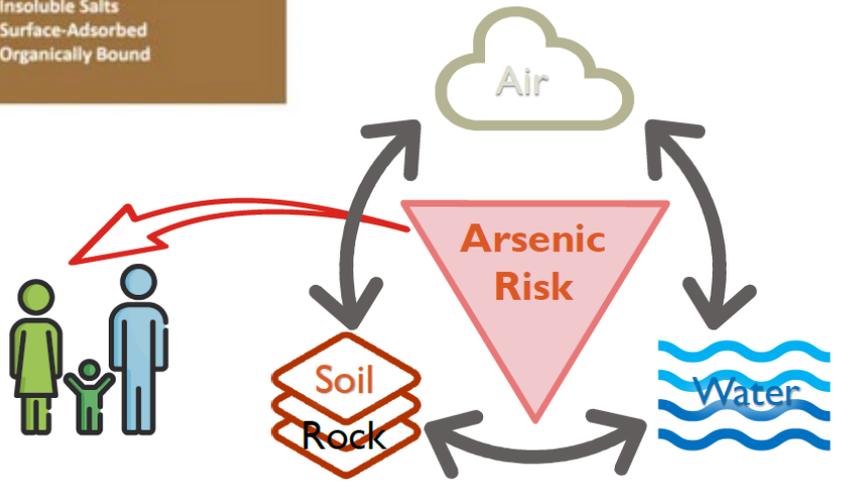
LA AMENAZA DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



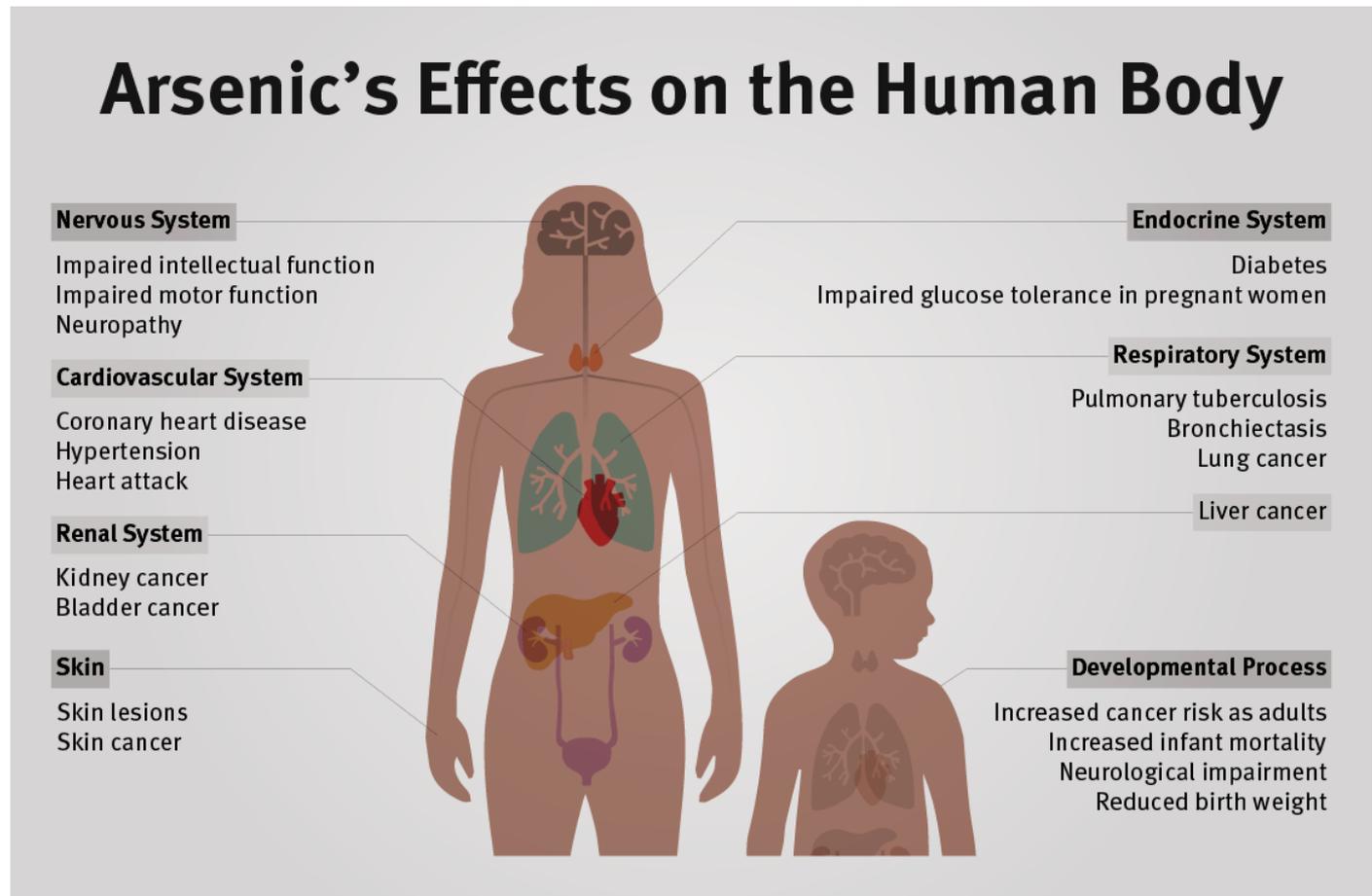
<https://www.slideshare.net/MSTomlinson/oahu-soil-sediment-as>

- El límite del contenido de As en aguas de consumo es de **10 µg/L** (e.g. WHO, 1993).



LA AMENAZA DEL As

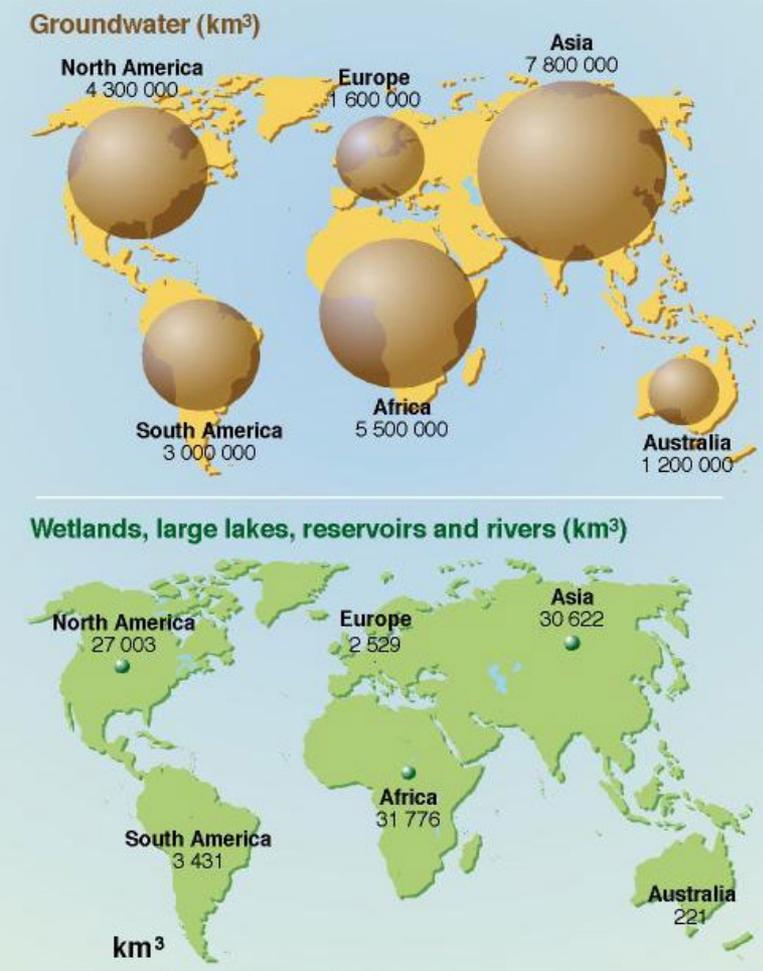
Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



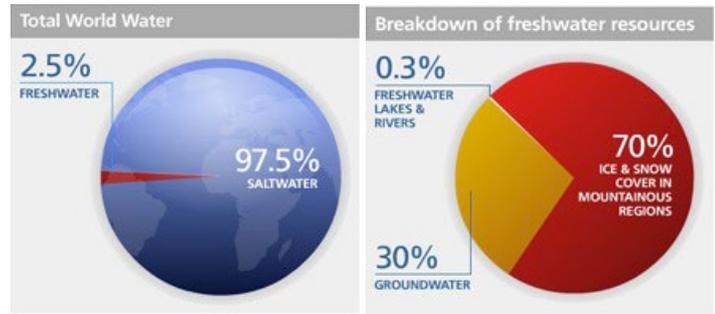
<https://www.hrw.org/report/2016/04/06/nepotism-and-neglect/failing-response-arsenic-drinking-water-bangladeshs-rural>

LA AMENAZA DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



Vital Water Graphics, UNEP 2005. <https://www.grida.no/resources/5830>

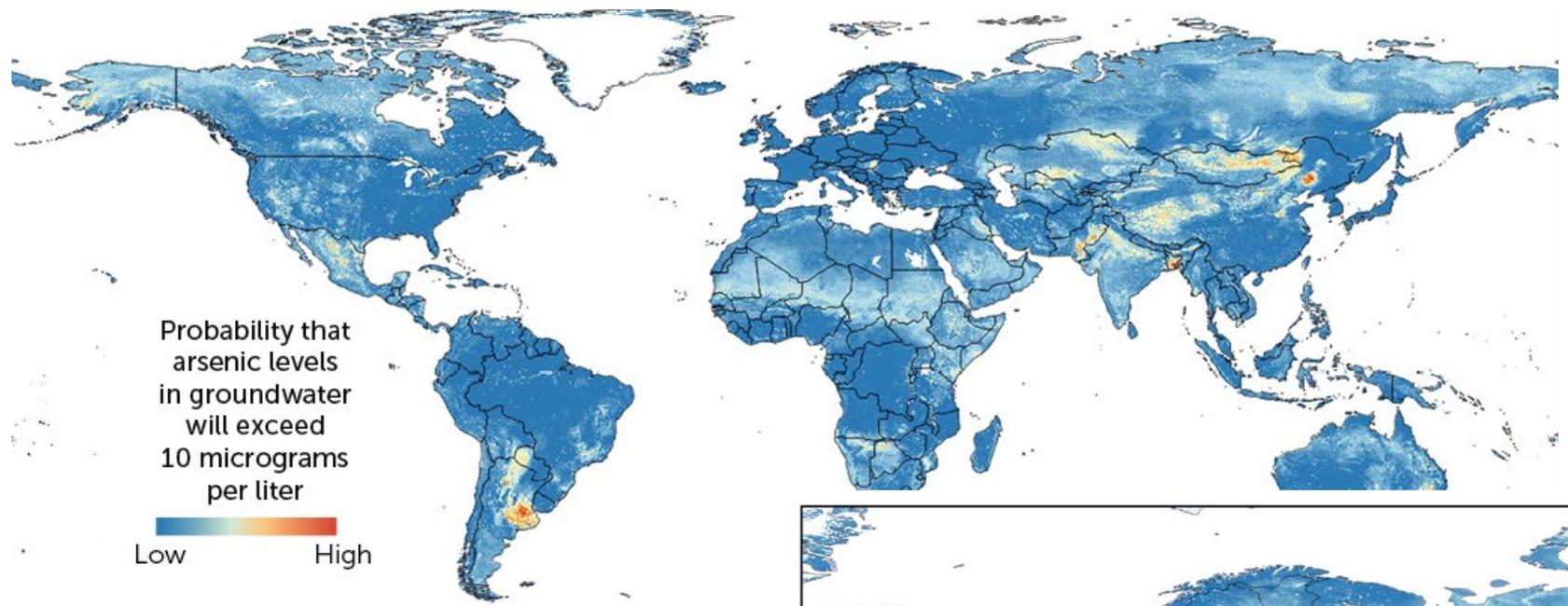


<http://www.everythingconnects.org/uploads/7/0/3/5/7035190/7911442.jpeg>

- Las aguas subterráneas representan un **25-40 %** del suministro global de agua de consumo directo (bebida)
- Cerca de **2.500 M** de personas en el mundo dependen exclusivamente de las aguas subterráneas para sus necesidades básicas diarias

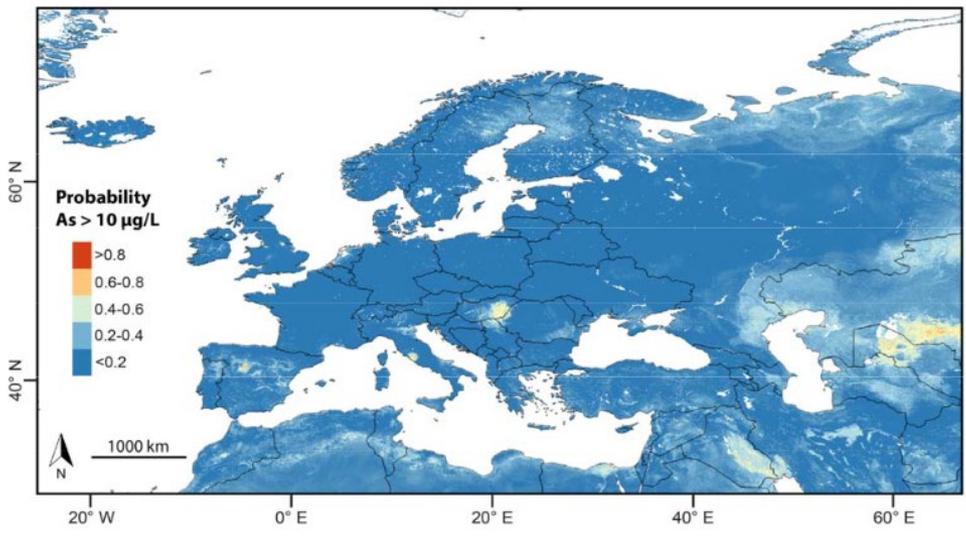
LA AMENAZA DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



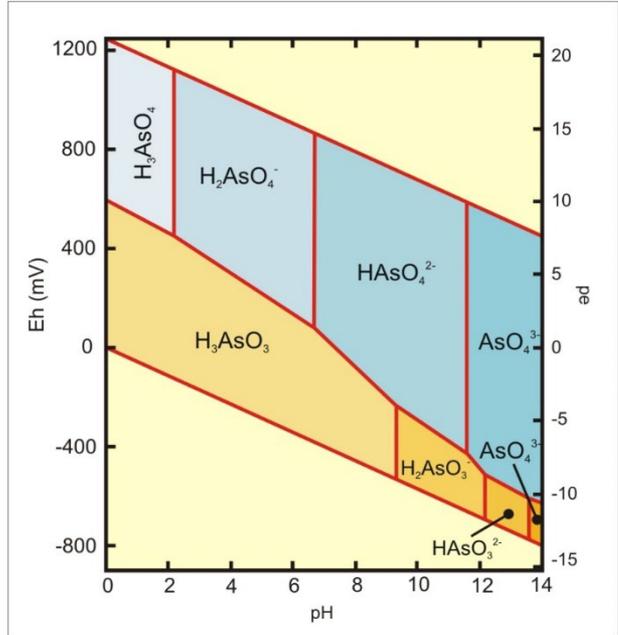
J. Podgorski and M. Berg. Global threat of arsenic in groundwater. Science. Vol. 368, May 22, 2020, p. 845. doi: 10.1126/science.aba1510.

- Al menos **140 M** de personas beben aguas subterráneas con concentraciones de arsénico superiores a **10 µg/L**, y **220 M** están en riesgo

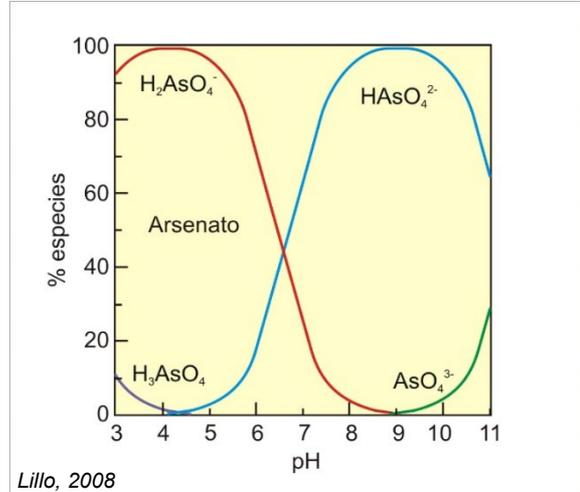


LAS FORMAS DEL As

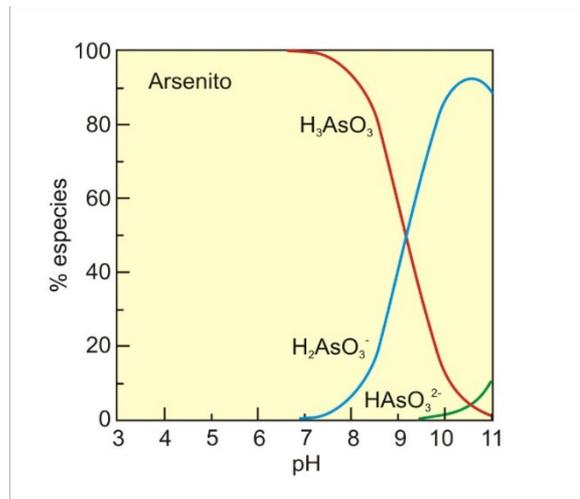
Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



Adaptado de Smedley y Kinniburgh, 2002



Lillo, 2008

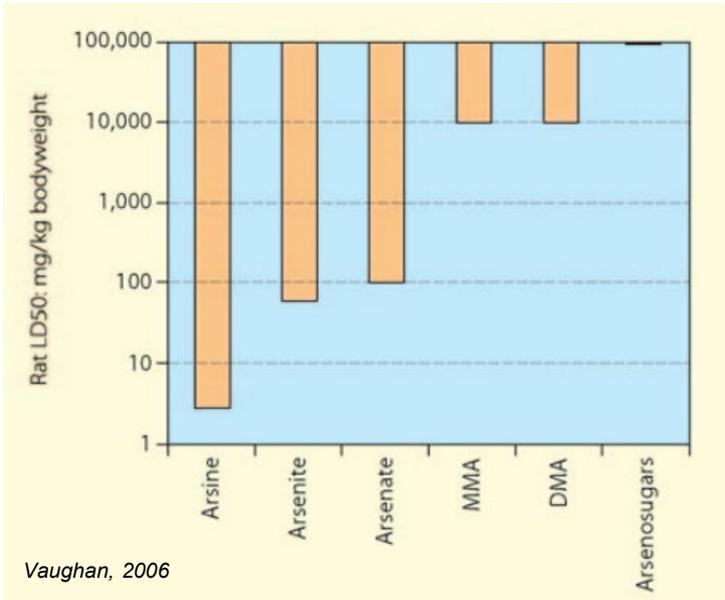
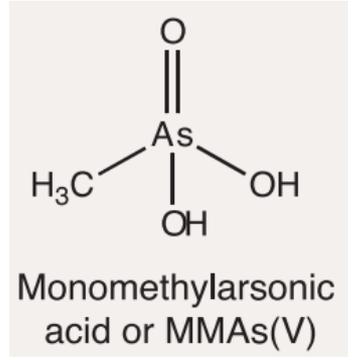
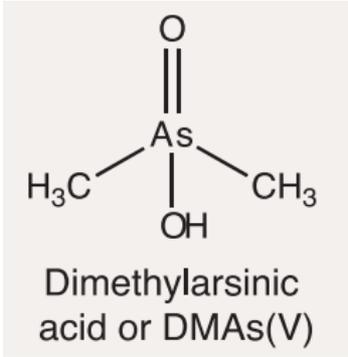


- El As se halla en las aguas naturales mayoritariamente como especie inorgánica disuelta, en dos estados de oxidación: **arsenito**, arsénico trivalente As(III), y **arsenato**, arsénico pentavalente As(V)

LAS FORMAS DEL As

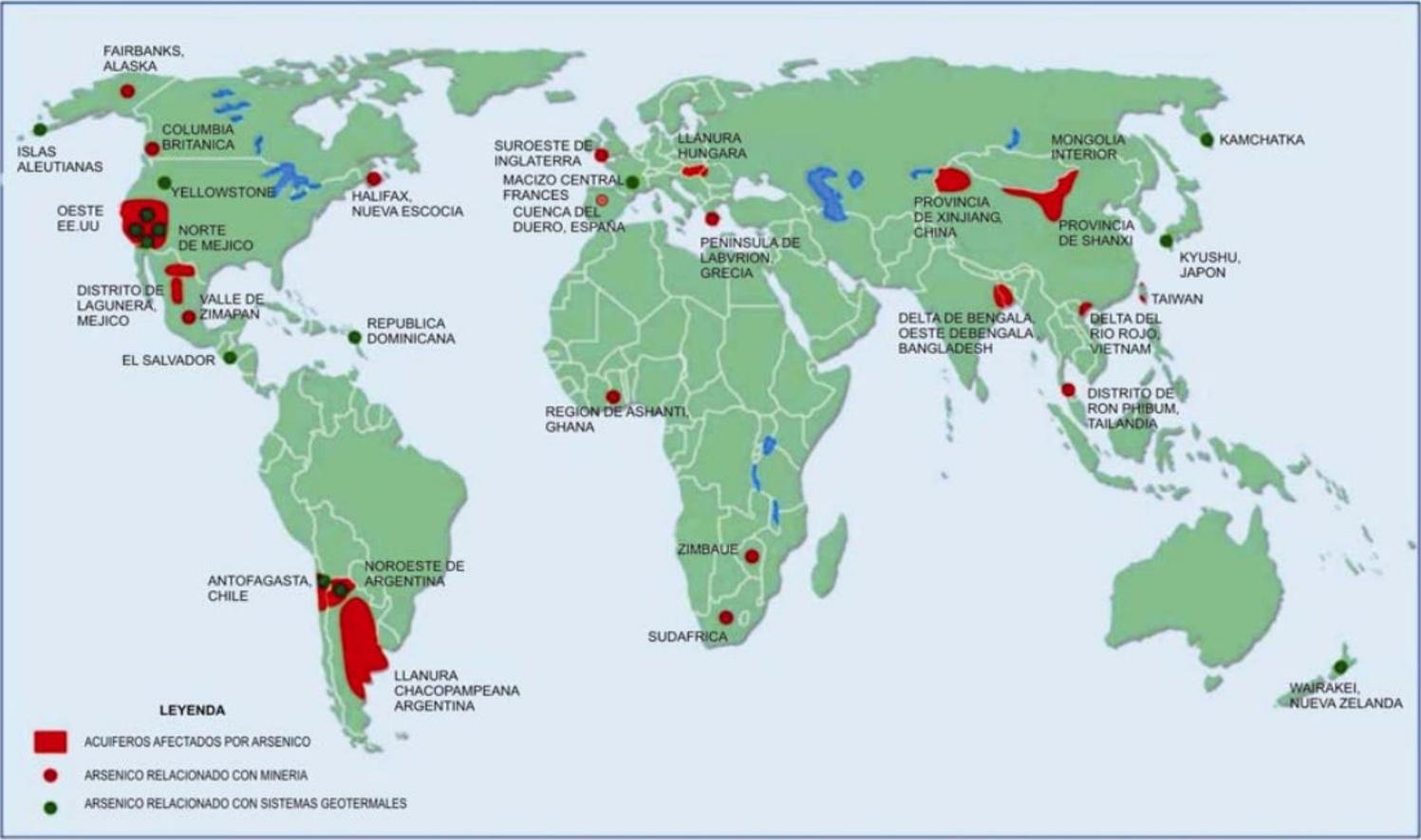
Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

- Las formas orgánicas de arsénico dominantes son el ácido dimetilarsínico (DMAs, $(CH_3)_2AsO_2H$) y el ácido monometilarsónico (MMAs, $CH_3AsO_3H_2$)
- Las formas orgánicas aparecen en concentraciones menores y en ambientes más restringidos que las especies inorgánicas, incrementando su proporción por reacciones de metilación catalizadas por actividad microbiana
- La especie de As más tóxica en el agua subterránea es el arsenito



EL ORIGEN GEOGÉNICO DELAs

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



Adaptado de Smedley y Kinniburgh, 2002

EL ORIGEN GEOGÉNICO DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

- En las aguas subterráneas se ha reportado un rango muy amplio de concentraciones de arsénico, entre $<0,5$ y $5.000 \mu\text{g/L}$
- La mayoría de los acuíferos con contenidos altos tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales, afectando a grandes áreas
- No existe un modelo geológico-hidrogeológico común, pudiendo estar las altas concentraciones relacionadas con ambientes geológicos-geoquímicos muy diferentes



Rocas sedimentarias ricas en As (Valle del río Elquí, Chile)

EL ORIGEN GEOGÉNICO DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

- Factores relacionados con el origen geogénico del As en las aguas subterráneas:
 - La fuente primaria de arsénico (rocas y minerales, y gases y aguas geotermales)

- Los procesos geoquímicos de interacción agua-fase sólida)
- Los procesos de mezcla de aguas (interacción agua-agua)
- El transporte de arsénico como especie acuosa y en la fracción coloidal y particulada



Lillo (2020)

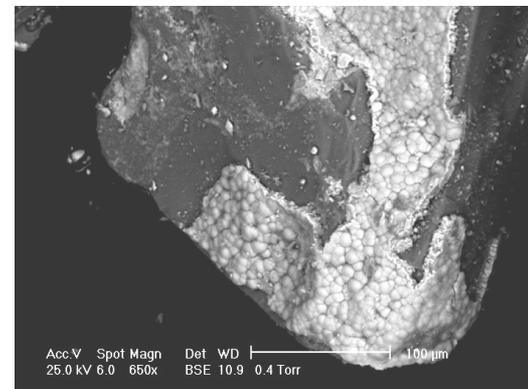
Dependen de las condiciones en el sistema hidrogeológico

EL ORIGEN GEOGÉNICO DEL As

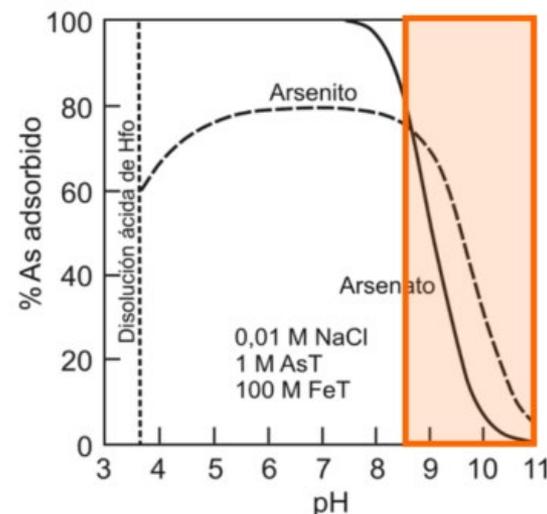
Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

- La presencia del As geogénico en las aguas subterráneas va a estar controlada por diversos procesos geoquímicos, sobre todo reacciones de precipitación-disolución y adsorción-desorción
- Esos procesos van a condicionar la transferencia de As entre la fase sólida y el agua y, con ello, la concentración y la forma química del As en ella

¿Por qué dos acuíferos similares en composición mineralógica y geoquímica muestran pautas muy distintas en cuanto a contenidos de arsénico?



Precipitación de gohetita sobre grano de cuarzo



Adaptado de Smedley y Kinninbourg, 2001

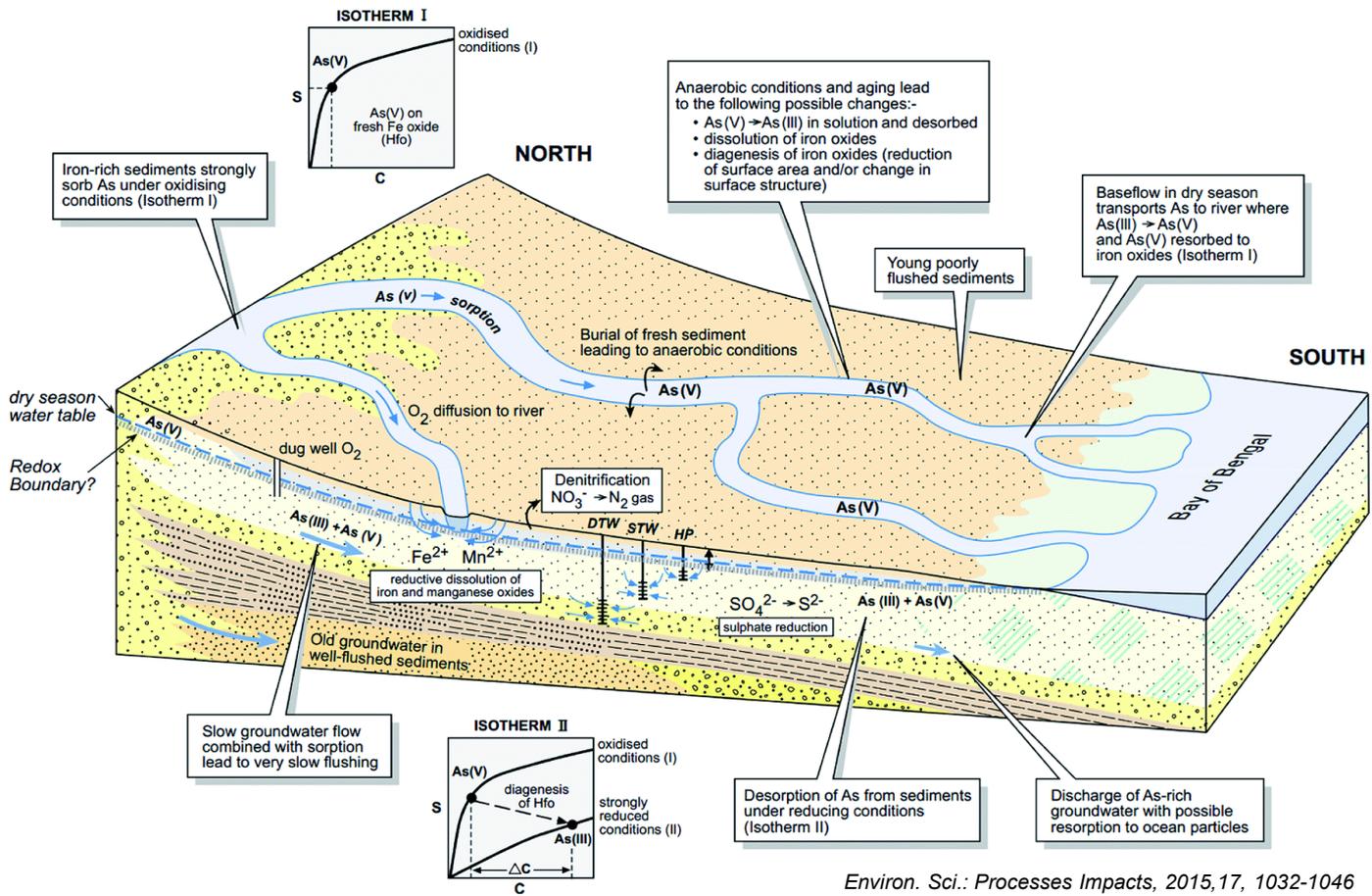
EL ORIGEN GEOGÉNICO DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

- Mecanismos de movilización de As desde la fase sólida al agua:
 - Oxidación (disolución oxidativa) de sulfuros
 - Disolución de óxidos e oxihidróxidos de Fe y Mn en condiciones ácidas
 - Desorción de óxidos en condiciones oxidantes a pH alto
 - Desorción y disolución de óxidos y oxihidróxidos en condiciones reductoras
 - Desorción por reducción de superficie específica en la fase sólida (“aging”)
 - Desorción por reducción en la carga de superficie de la fase sólida
 - Desorción por intercambio iónico (con iones competidores como fosfato, carbonato)

EL ORIGEN GEOGÉNICO DEL As

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas



Environ. Sci.: Processes Impacts, 2015,17, 1032-1046

LA AFECCIÓN ANTRÓPICA

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

Afecciones antrópicas:

- (Sobre)extracción de aguas subterráneas
- Excavación (minería)
- Recarga artificial
- Alteraciones en la recarga natural por urbanización, cambios en el sistema hidrológico



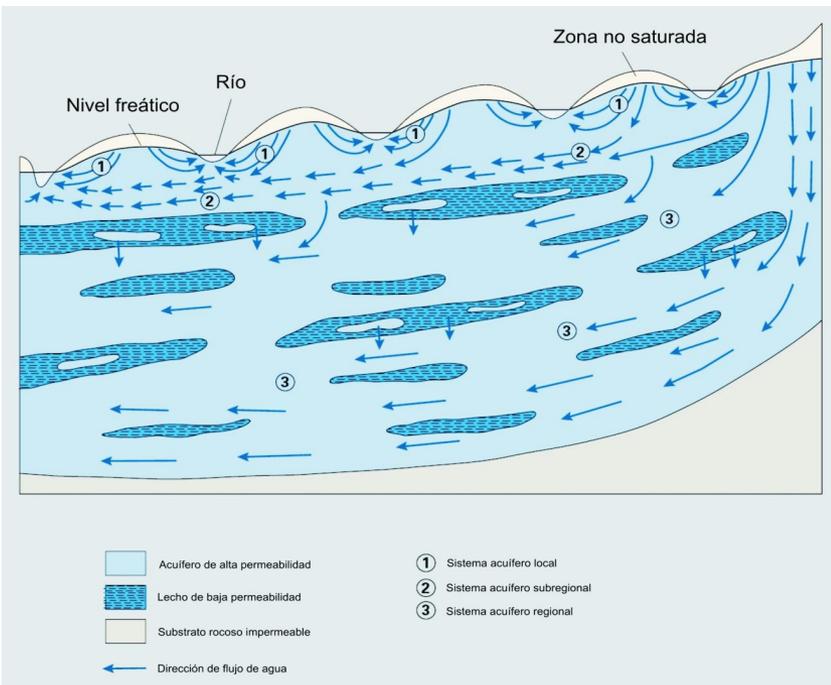
Alteraciones de las condiciones originales hidrogeológicas:

- Cambios en niveles piezométricos, ascensos-descensos, y frecuencia de oscilaciones
- Alteraciones del sistema de flujo, en gradiente y dirección
- Entrada y mezcla de aguas exógenas, con diferentes características fisicoquímicas y químicas

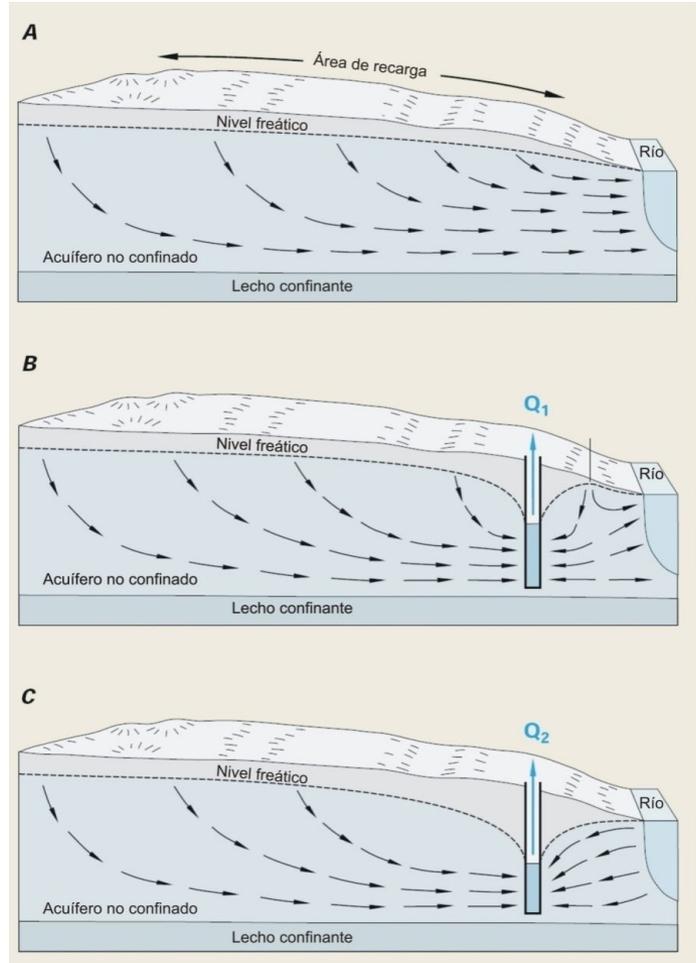
LA AFECCIÓN ANTRÓPICA

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

(Sobre)extracción de aguas subterráneas



Sustainability of Ground-Water Resources USGS, 1999

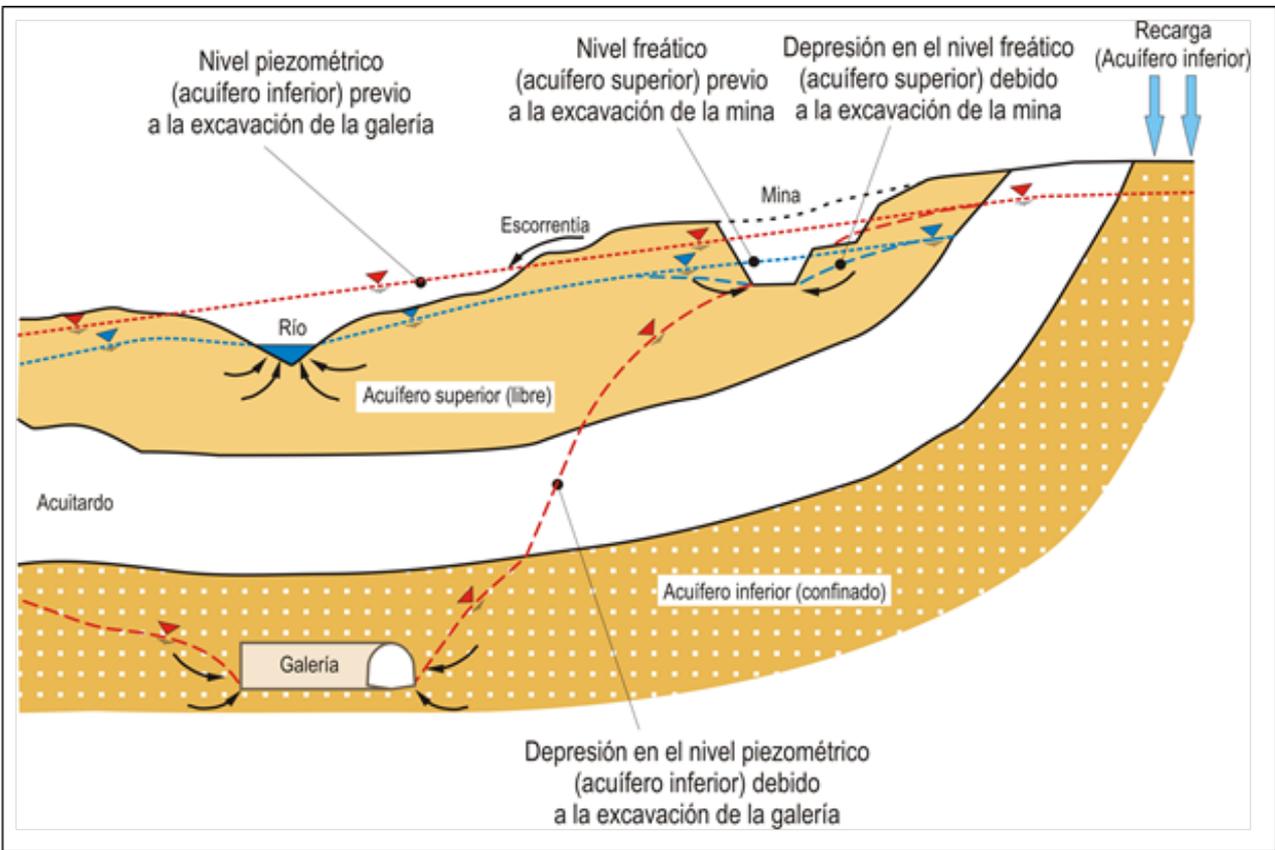


Adaptado de Ground Water And Surface Water, A Single Resource USGS, 1998

LA AFECCIÓN ANTRÓPICA

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

Excavación (minería)

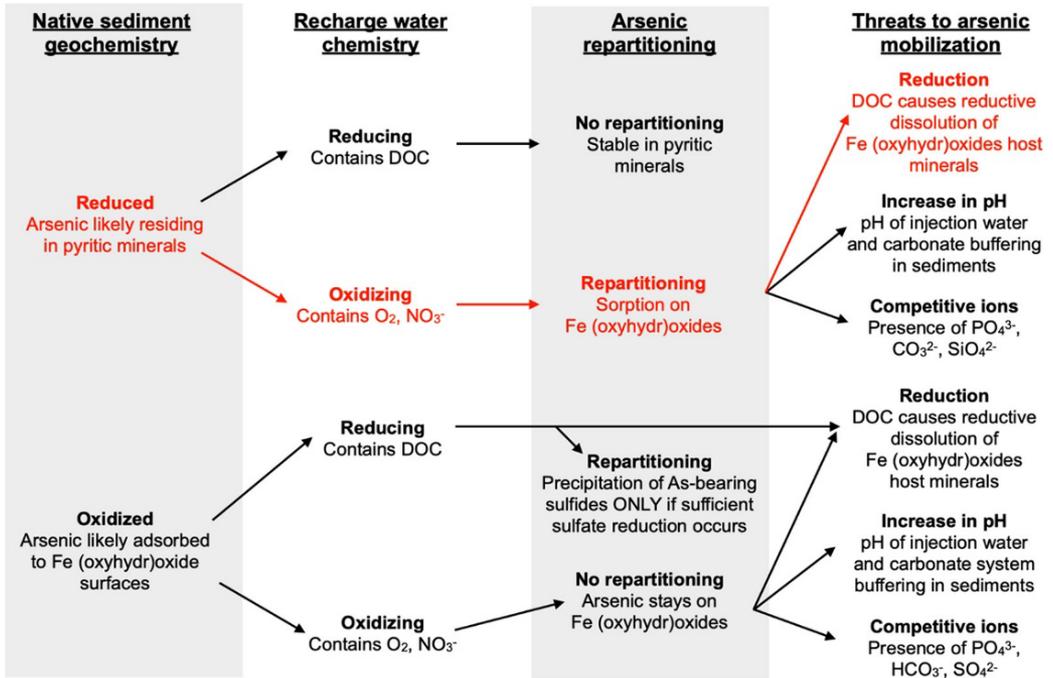
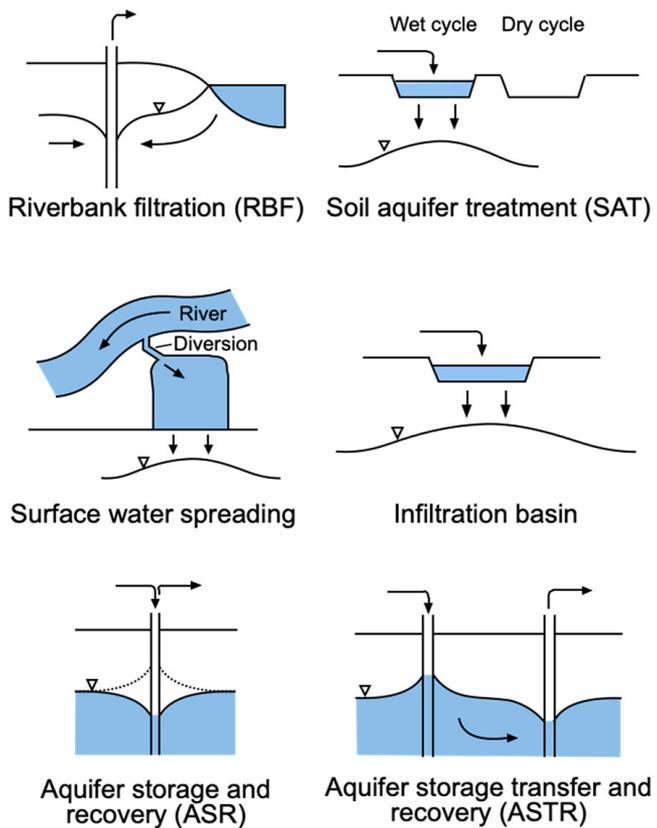


Oyarzun et al., 2011

LA AFECCIÓN ANTRÓPICA

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

Recarga artificial

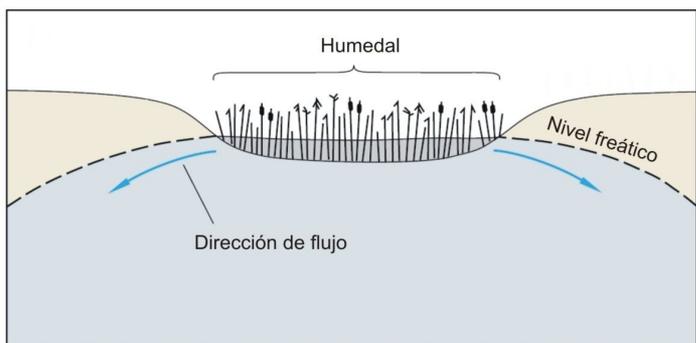
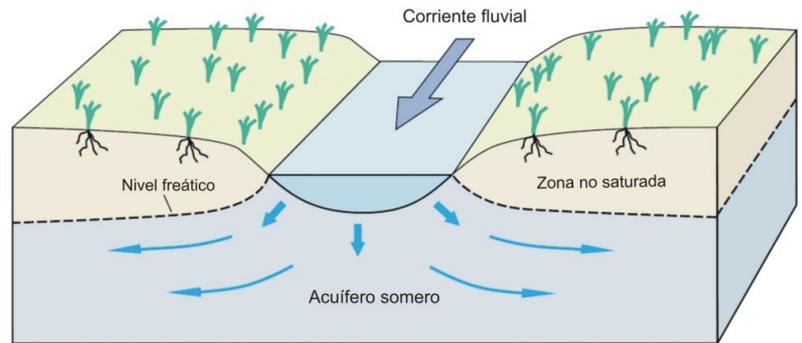
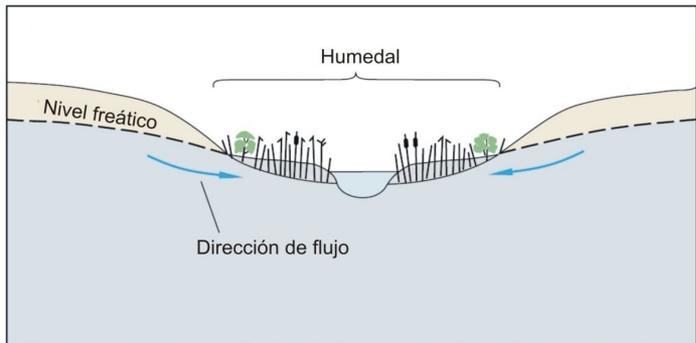
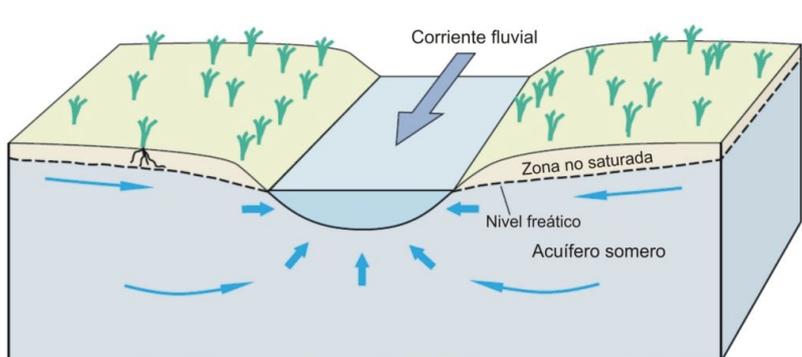


Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 4, 2208-2223

LA AFECCIÓN ANTRÓPICA

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

Alteraciones en el sistema hidrológico



Adaptado de *Ground Water And Surface Water, A Single Resource* USGS, 1998

CONCLUSIONES

Actividad antrópica y arsénico geogénico en las aguas subterráneas

- El arsénico en las aguas subterráneas supone una gran amenaza para millones de personas que solo pueden acceder a estas aguas para consumo
- La presencia del As geogénico en las aguas subterráneas está controlada por diversos procesos geoquímicos (sobre todo reacciones de precipitación-disolución y adsorción-desorción), los fenómenos de mezcla de aguas y el transporte por flujo
- La alteración de las condiciones originales del sistema hidrogeológico (modelo de flujo, niveles piezométricos, características fisicoquímicas y químicas) por causas antrópicas (explotación de aguas subterráneas, excavación, recarga artificial y alteraciones en el sistema hidrológico) pueden facilitar, en gran medida, la ocurrencia de los fenómenos que contribuyen a la presencia de As en las aguas subterráneas

La actividad antrópica, un aspecto clave en la contaminación geogénica de arsénico en las aguas subterráneas



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

This license requires that reusers give credit to the creator. It allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, for noncommercial purposes only. If others modify or adapt the material, they must license the modified material under identical terms.

javier.lillo@urjc.es

