



Universidad Nacional de San Martín
Fundación Innovación y Tecnología (FUNINTEC)
Director: Alberto Pochettino

Programa FUTUROS
Escuela de Posgrado: Agua + Humedales

Arsénico en agua

(Conferencia)

Por Marta Litter¹

Filiación:

¹ Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica/Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, San Martín / CONICET, Argentina. Email: marta.litter@gmail.com / litter@cnea.gov.ar.

Registro del capítulo del libro digital

Título del capítulo: Arsénico en agua

Autor capítulo: Litter, Marta.

Páginas: 210-224

Título del libro: Agua + Humedales

Edición: 1ª edición

Editor: UNSAM Edita.

Serie: Futuros

Fecha de publicación: junio 2018

Páginas: 485

Derechos: Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos, mencionando la fuente.

Idioma: Español

Identificación y acceso

ISBN: 978-987-4027-68-9

URL: <https://www.funintec.org.ar/contenidos/aguahumedales-es-el-primer-libro-de-la-serie-futuros/>

Cita del capítulo: Litter, Marta (2018). Arsénico en agua. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita.

Área de conocimiento

Área: Recursos naturales

Categoría: Ciencias ambientales e ingeniería

Palabras clave: ARGENTINA; POLÍTICA GUBERNAMENTAL; CALIDAD DE AGUA;
ABASTECIMIENTO DE AGUA; ARSÉNICO EN AGUA

Este documento forma parte de la Colección Programa FUTUROS del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín, desarrollado por la Biblioteca Central. El propósito es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica y con reconocimiento de la fuente.

Disponible en el Repositorio Institucional de la UNSAM

Litter, M. (2018) Arsénico en agua. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC) (2018). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita. [En línea] Disponible en: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín: Colección Programa Futuros. (PFAH 2018 CLM) <http://bit.ly/2gDqQLp> [Fecha de consulta:.....]

Litter, Marta. "Arsénico en agua"

RESUMEN

La problemática del arsénico (As) es un tema multidisciplinario que comprende aspectos de su distribución geográfica y geológica, impactos sobre la salud y cuestiones sociales para su resolución. Se describe brevemente la química del As, su distribución y niveles en aguas y suelos, así como los mecanismos geoquímicos de liberación y movilización. Se citan las metodologías analíticas disponibles para la medición de As a nivel de trazas, imprescindibles para determinar los niveles en aguas y monitorear la remoción del contaminante al nivel recomendado por la Organización Mundial de la Salud en agua potable (10 µg/L). Se mencionan brevemente las afectaciones a la salud por la ingesta de As. Por último, se detallan las tecnologías existentes para la remoción de As, convencionales y emergentes, con énfasis en las destinadas a localidades aisladas rurales y periurbanas. Se enfatiza como prioritaria la I+D en materiales y tecnologías relacionadas al As, incluyendo la búsqueda de acuíferos libres del elemento. Se señala que la aplicación y diseminación de la(s) tecnología(s) deben encararse como acción conjunta entre autoridades, organizaciones no gubernamentales, compañías oferentes de productos y tecnologías, el ámbito CyT y toda la sociedad, sin que pueda resolverse el problema sin la participación de todos estos actores. En nuestro país, debido a la gran cantidad de personas que pueden estar afectadas, esta deberá ser una política de Estado, conducida por autoridades del gobierno nacional, gobiernos regionales y locales.

Palabras clave: *Arsénico; agua; HACRE; remoción.*

ABSTRACT

The problems related to arsenic (As) as a multidisciplinary issue involving aspects of geographical and geological distribution, concerns about health impact, and social issues are relevant in order to find a solution. The chemistry of As is briefly described, its distribution and levels in water and soils, and the geochemical mechanisms of its release and mobilization in water. The available analytical methodologies for the measurement of As at trace-level are cited, indispensable for determining the levels in waters and monitoring the removal of the pollutant to the level below the limit recommended by the World Health Organization in drinking water (10 µg/L). The health problems related to long-term ingestion of As through water and food consumption are described. Finally, a detailed account of conventional and emerging technologies existing for As removal, focusing on those aimed at remote rural and periurban areas. R&D in materials and technologies related to As is prioritized, including the search of aquifers free from such element. Attention is drawn to the application and spreading of these technologies as a joint action involving government, non-governmental organizations, technology and product companies, scientific and technology communities, as well as the whole society, for otherwise it will be impossible to find a solution to the problem. In Argentina, the central government must adopt a policy that should be endorsed by the regional and local authorities.

Key words: *Arsenic; Water; HACRE; Removal.*

Arsénico en agua¹

Marta Litter²



1. Introducción

La presencia de arsénico (As) en aguas de consumo ha ocasionado la diseminación de la arsenicosis, conocida como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) en América Latina (AL), enfermedad crónica que se manifiesta principalmente por alteraciones dermatológicas y algunos tipos de cáncer [1, 2]. Las poblaciones más afectadas por el HACRE habitan en países con bajos niveles de ingreso. En el mundo existen unos 200 millones de personas afectadas, y se estima que la población en riesgo en AL supera los 14 millones, con elevada incidencia en casi todos los países de la región [3].

La presencia de altos niveles de As en el agua es un tema prioritario de preocupación ambiental, que limita el uso del recurso para agua potable y otros propósitos e impide el crecimiento socioeconómico, la sostenibilidad del uso racional de los suelos y el desarrollo sostenible de la agricultura. Por lo tanto, se necesitan datos para mejorar la comprensión de la distribución geográfica y de la génesis geológica del As en acuíferos, sedimentos y suelos, de los factores que influyen en su movilidad en el agua subterránea, su permeación a suelos y su absorción

1 Este trabajo se realizó con financiamiento de CYTED (Red IBEROARSEN) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, proyectos PICT-06 512 y PICT-2011-0463.

2 Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica/Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, San Martín /CONICET, Argentina. marta.litter@gmail.com / litter@nea.gov.ar.

por las plantas. Se necesitan también metodologías de determinación de As en agua a nivel de trazas, compatibles con los límites impuestos por la legislación para el contenido en agua potable que, en la mayoría de los países, se ha fijado recientemente en 10 µg/L. Por otra parte, la mayor proporción de la población afectada habita en núcleos de población rural o periurbana dispersa, no conectada a redes de agua potable y en condiciones socioeconómicas que impiden la instalación de grandes plantas de tratamiento. Por ello, es fundamental el desarrollo y puesta a punto de tecnologías económicas de abatimiento de As, que sean eficientes y amigables y puedan ser rápidamente implementadas, al menos hasta que las autoridades brinden agua segura a todos los habitantes.

2. Desarrollo

2.1. Breve descripción de la química del As

El arsénico (As, número atómico 33, peso atómico 74,922) es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera (aprox. $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre). La mayor cantidad del As en el medio ambiente proviene de fuentes naturales (meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas). Existe también una importante contribución de actividades antrópicas provenientes de procesos industriales (minería, fundición de metales, pesticidas, conservantes de la madera, etcétera).

El elemento puede estar presente en distintos estados de oxidación (-III, 0, III, V), tanto en formas inorgánicas (AsI) como orgánicas, en un amplio rango de concentraciones en aire, agua, suelos, vegetales y animales. Las especies químicas más importantes son:

- ▶ Arseniato y otras formas inorgánicas de As(V).
- ▶ Arsenito y otras formas inorgánicas de As(III).
- ▶ Formas metiladas de As(V), como el ácido dimetilarsínico (DMA(V)), el monometilarsonato (MMA(V)) y otras.
- ▶ Formas metiladas de As(III), como el ácido dimetilarsenioso (DMA(III)) y otras.
- ▶ Óxido de trimetilarsina (TMAO(V)).
- ▶ Arsenobetaína (AB).
- ▶ Arsenocolina (AC).
- ▶ Cation tetrametilarsonio (TMA⁺).

- ▶ Arsenoazúcares (AsAz).
- ▶ Arsenolípidos.
- ▶ Otras especies de arsénico.

Con respecto a las formas químicas, el As(V) puede encontrarse en agua como H_3AsO_4 y sus productos de disociación (H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} y AsO_4^{3-} ; pK_{a1} : 2,3; pK_{a2} : 6,8 y pK_{a3} : 11,6), mientras que el As(III) se presenta como H_3AsO_3 y sus derivados protolíticos (H_4AsO_3^+ , H_2AsO_3^- , HAsO_3^{2-} y AsO_3^{3-} ; pK_{a1} : 9,2; pK_{a2} : 12,7) [1].

Bajo condiciones oxidantes, el As(V) predomina sobre el As(III). Se encuentra fundamentalmente como H_2AsO_4^- a pH menor que 6,9; a mayor pH, la especie dominante es HAsO_4^{2-} y, a basicidad extrema, la especie dominante es AsO_4^{3-} . El ácido arsenioso aparece a bajo pH y en condiciones reducidas suaves, pero se transforma en H_2AsO_3^- a medida que aumenta el pH. En condiciones reductoras, a pH inferior a 9,2, predomina la especie neutra y solo a pH mayor de 12 puede estar presente la especie HAsO_3^{2-} [1].

El estado de oxidación del As y, por lo tanto, su movilidad, están controlados fundamentalmente por el potencial redox y el pH (figura 1).

En aguas naturales, el As se encuentra formando oxianiones. En general, en aguas superficiales, el As(V) predomina sobre el As(III). En aguas subterráneas pueden encontrarse ambos estados de oxidación ya que las concentraciones dependen de las condiciones redox y de la actividad biológica. El As(III) puede provenir de la reducción biológica del As(V) y predomina en zonas cercanas a industrias con efluentes ricos en As(III), aguas geotermales y ambientes reductores. La arsina (AsH_3) y sus derivados y el arsénico cerovalente (As(0)) solo se forman bajo condiciones extremadamente reductoras. En aguas marinas, la especie predominante es As(V), que puede ser transformado a formas orgánicas o reducido biológicamente a As(III).

El principal origen del As en el suelo es el material parental del cual deriva, siendo el constituyente principal de más de 200 minerales, principalmente sulfuros como pirita, calcopirita, galena y marcasita [1]. La pirita es el más frecuente, ya que, además de formarse en ambientes hidrotermales, también se forma en medios sedimentarios bajo condiciones reductoras. La minería y los pesticidas y herbicidas de AsI, especialmente durante el siglo XX, han contribuido también a la contaminación de los suelos.

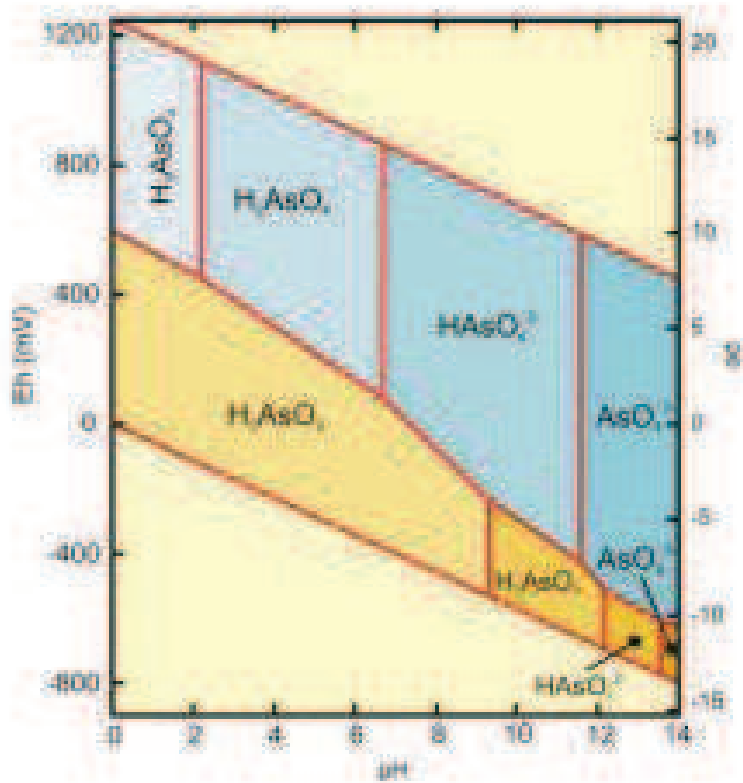


Figura 1. Diagrama Eh-pH de especies acuáticas de arsénico en el sistema As-O₂-H₂O [1].

Las especies orgánicas están ampliamente distribuidas en la atmósfera, en sistemas acuáticos, suelos, sedimentos y tejidos biológicos, pero siempre en concentraciones menores que el AsI. Las reacciones de metilación mediadas biológicamente que ocurren en organismos terrestres y marinos convierten el AsI en MMA(V), DMA(V), TMAO(V) y TMA⁺, que son precursores de formas más complejas, como los arsenolípidos, AB, AC y los AsAz [1]. Un número elevado de alquil- y arilderivados son sintetizados para uso como biocidas.

2.2. Contaminación por arsénico y toxicidad

El As es un veneno bien conocido, y el anhídrido arsenioso (As₂O₃) fue usado entre los siglos XVI al XIX por conocidos envenenadores como los Borgia, la marquesa de Brinvilliers,

“LaVoisin”, Mme. Lafarge y Jeanne Gilbert. Se cree que Napoleón murió envenenado con As, ya que se encontraron restos en sus cabellos [4].

Las distintas especies de As producen diferentes niveles de toxicidad. El AsI es más tóxico que las formas orgánicas, que están presentes en los organismos vivos, especialmente en peces y moluscos [5]. El arsenito es la forma más tóxica, 10 veces más que el arseniato y 70 veces más que DMA y MMA, aunque estas especies son bastante tóxicas, teratogénicas y genotóxicas en dosis elevadas. AB y AC son virtualmente no tóxicas, y de allí que el consumo moderado de productos pesqueros no conlleve riesgo toxicológico. No se conocen los efectos tóxicos del TMAO(V) ni de los arsenolípidos. Los AsAz no presentan toxicidad *in vitro*, aunque pueden serlo *in vivo* por su transformación a DMA.

Se define como arsenicosis, o HACRE, a una serie de manifestaciones clínicas sobre la salud producidas por el consumo diario de agua (bebida y preparación de alimentos) conteniendo As. Esta enfermedad se caracteriza por presentar hiperqueratosis y otras lesiones dérmicas, así como alteraciones sistémicas cancerosas y no cancerosas. Además, el consumo crónico de agua con As es un factor de alto riesgo en relación con el cáncer de vejiga y pulmón, debido a la gran capacidad mutagénica, teratogénica y carcinogénica del elemento. Se han encontrado también patologías vasculares de las extremidades inferiores, diabetes, hipertensión arterial y trastornos reproductivos [6, 7]. En la figura 2 se muestra una foto representativa de los efectos ocasionados por el consumo crónico de agua con As.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) clasifica el As dentro del grupo I por las evidencias clínicas de su acción carcinogénica [8]. Teniendo en cuenta los efectos tóxicos del AsI sobre los seres humanos y otros organismos, la OMS ha recomendado un límite de 10 µg/L de As en agua para consumo humano [9]. Este valor guía se basa “en un exceso de 6×10^{-4} en el riesgo de contraer cáncer de piel 60 veces más alto que el factor usado típicamente para proteger la salud pública” [10]. Por ello, la presencia de As en agua para consumo humano afectaría potencialmente a más de 200 millones de personas [11]. Cuatro millones de ellas fueron documentadas en AL sobre la base de la antigua regulación (50 µg/L) pero, de acuerdo con el nuevo valor de 10 µg/L, podrían estar en riesgo unos 14 millones, 4 millones en Argentina.



Figura 2. Hiperqueratosis palmar provocada por consumo de agua con As (Gentileza Dr. Carlos Eduardo Padial).

En América del Sur, especialmente en Argentina, Chile y Perú, el problema se conoce desde hace décadas y afecta principalmente a poblaciones pobres aisladas no conectadas a red de agua potable [3]. Debido a los altos niveles en sus aguas subterráneas, en algunos casos de hasta 4,0 mg/L, y a la amplia distribución geográfica del As, la Argentina ocupa uno de los lugares en el mundo con mayor número de población susceptible de sufrir efectos por la ingesta del elemento presente en el agua o en alimentos. El 4 de septiembre de 2008, el diario *Clarín* alertaba en su tapa sobre la presencia de As en el agua, “peligro para 4 millones”. Datos obtenidos en los últimos tiempos han determinado contenidos de As muy elevados en zonas de la llanura Chaco-Pampeana, Puna y Cuyo, en las provincias de Córdoba, Chaco, Salta, Tucumán, Santiago del Estero, Santa Fe, San Luis, Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, San Juan, La Rioja, Catamarca y Jujuy; otras áreas en Río Negro y Neuquén están aún bajo investigación [1, 12]. El contenido de As en aguas subterráneas varía ampliamente, entre 4 y 5300 $\mu\text{g/L}$, con un valor medido extremo de 14.969 $\mu\text{g/L}$ en Santiago del Estero [13]. En algunos lugares, el 99% de las aguas subterráneas excede los 10 $\mu\text{g As/L}$. Uno de los casos más emblemáticos y con mayor

repercusión mundial fue el de Bell Ville, en Córdoba, a principios del siglo pasado. El gran número de casos de HACRE ocurridos en esta ciudad determinó que la patología se conociera como “enfermedad de Bell Ville” hasta 1913, año en que Goyenechea relacionó las patologías observadas con el consumo de agua con As [14]. Estudios posteriores fueron los de Ayerza, quien la denominó “arsenicismo crónico regional endémico” [15] y los de Tello, quien introdujo el nombre HACRE [16, 17, 18].

2.3. Metodologías analíticas disponibles para la medición de As a nivel de trazas

El análisis y especiación de As es crucial para conocer de manera certera los niveles que pueden afectar aguas, suelos y sedimentos, así como las cantidades presentes en alimentos a ser ingeridos o su presencia en organismos vegetales y animales, especialmente en el ser humano. También es imprescindible para desarrollar tecnologías de remoción de alta calidad para mitigar los problemas comentados arriba. Se listan las metodologías de análisis existentes, de distinta complejidad y niveles de detección variables. Más información se puede obtener en [2].

- ▶ Métodos espectrofotométricos UV-Vis.
- ▶ Absorción atómica-generación de hidruros (AAS-HG).
- ▶ Absorción atómica con horno de grafito (AAS-GF).
- ▶ Espectroscopía de emisión-plasma inductivo de argón (ICP-OES).
- ▶ Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS).
 - ▶ Florescencia atómica-generación de hidruros (AFS-HG).
 - ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a espectroscopía de emisión mediante plasma inductivo de argón (HPLC-ICP-OES).
 - ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a generación de hidruros-espectroscopía de emisión mediante plasma inductivo de argón HPLC-HG-ICP-OES.
 - ▶ Cromatografía gaseosa acoplada a generación de hidruros-espectroscopía de absorción atómica (HG-GC-AAS).
 - ▶ Cromatografía gaseosa-trampa fría-acoplada a espectroscopía de absorción atómica (HG-CT-GC-AAS).
 - ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a generación de hidruros-espectroscopía de fluorescencia atómica (HPLC-HG-AFS).
 - ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a

generación de hidruros-espectroscopía de absorción atómica (HPLC-HG-AAS).

- ▶ Cromatografía líquida de alta resolución-plasma inductivamente acoplado-espectrometría de masas (HPLC-ICP-MS).

- ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a generación de hidruros-plasma inductivamente acoplado-espectrometría de masas (HPLC-HG-ICP-MS).

- ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a plasma inductivamente acoplado-espectrometría de masas con “electrospray” (HPLC-ES-MS).

- ▶ Cromatografía líquida de alta resolución asociada a plasma inductivamente acoplado-detección por doble masa con “electrospray” (HPLC-ES-MS-MS).

- ▶ Técnicas electroquímicas.

- ▶ Métodos de espectroscopía con rayos X.

Debe hacerse énfasis en la necesidad del desarrollo de métodos analíticos económicos y de campo que posibiliten mediciones con equipos económicos y poco sofisticados.

2.4. Métodos de remoción de arsénico

La solución al problema del As tiene como base la provisión de metodologías para brindar a la población agua segura. Una estrategia sería buscar fuentes de agua alternativas libres de As [19], pero esta solución es a veces imposible de implementar ya que, en muchas zonas, las fuentes de abastecimiento poseen niveles considerables de As, y las aguas de buena calidad están ubicadas en zonas alejadas. Por lo tanto, la estrategia alternativa es ofrecer métodos eficientes de remoción. En varias regiones, las autoridades de ciudades o pueblos han encarado el problema instalando plantas de abatimiento de mediana o gran escala, conectadas a la red de distribución. En otros casos, se ha distribuido a la población agua envasada libre de As, mientras que la red abastece agua sin tratar. Sin embargo, la población rural o periurbana dispersa no conectada a redes de agua potable, y en condiciones socioeconómicas que impiden la instalación de plantas de tratamiento, requiere métodos económicos eficientes, al menos para paliar la situación e impedir la aparición de enfermedades hasta que se provea de agua segura a estas poblaciones.

La mayoría de las tecnologías de remoción son eficientes cuando el As está presente en el estado pentavalente, porque la forma trivalente no está cargada a pH debajo de 9.2. Por ello, deben oxidarse previamente los componentes arsenicales. Sin

embargo, debe señalarse que la oxidación constituye solamente un tratamiento preliminar de otros tratamientos físicos o químicos, pero no remueve el As del agua.

Los métodos existentes para remover As se dividen en tecnologías convencionales y emergentes. Las convencionales se basan en unos pocos procesos químicos básicos, aplicados simultánea o secuencialmente: coagulación-precipitación, ósmosis inversa, oxidación/reducción, adsorción, intercambio iónico, separación sólido/líquido, exclusión física, etc. [20]. Las tecnologías para remoción a nivel de plantas centralizadas de mediana y gran escala más utilizadas en la región latinoamericana son aquellas basadas en procesos de coagulación-adsorción-filtración y las basadas en procesos de membranas, en especial, la ósmosis inversa [21]. Otras tecnologías menos usadas son adsorción, intercambio iónico, sedimentación, filtración y tratamientos biológicos.

En cuanto a los métodos emergentes, podemos mencionar como ejemplo algunos desarrollados por grupos de AL [22]:

- Tecnologías basadas en la coagulación con sales de hierro y aluminio: la más conocida y aplicada en la región es el ALUFLOC, desarrollado por el CEPIS de Perú, que consiste en agregar al agua una mezcla de arcillas, hipoclorito de calcio y sulfato de aluminio.

- Adsorción: usa diversos productos adsorbentes comerciales o materiales autóctonos empaquetados en columnas de lecho fijo (alúmina activada, dióxido de titanio, óxido de cerio u óxidos e hidróxidos granulares). El uso de nanopartículas de hierro cerivalente o de óxidos de hierro permite procesos muy rápidos que combinan la adsorción con reacciones de oxidación para llevar As(III) a As(V).

- Uso de soportes recubiertos con materiales de hierro: impregnación de óxidos de hierro en soportes económicos como, por ejemplo, esferas de quitosano.

- Intercambio iónico: uso de resinas sintéticas fuertemente básicas que intercambian el As por cloruro.

- Tecnologías solares y fotoquímicas: se oxida As(III) empleando luz UV o solar, fotocatalisis heterogénea bajo luz UV con TiO_2 , o hierro cerivalente bajo luz solar.

- Fitorremediación: usa especies de plantas acuáticas de amplia distribución geográfica, con capacidad de acumular el elemento, que es absorbido por las raíces y se acumula mayoritariamente en hojas.

- ▶ Barreras reactivas permeables: se interpone un medio reactivo semipermeable capaz de retener As en el camino del flujo de una pluma de contaminantes.
- ▶ Fijación química *in-situ*: inyección de reactivos en el subsuelo para favorecer la formación de fases sólidas insolubles que incluyan As presente en el suelo o en el agua subterránea. Se usa generalmente hierro cerovalente nanoparticulado.

3. Conclusiones finales. Posibles soluciones al problema del arsénico en agua de consumo humano

Las formas más comunes del As en agua son oxianiones de As(III) o As(V). Las diferentes características físicas y químicas de las formas químicas presentes en el medio ambiente (As(V), As(III), MMA, DMA, TMA⁺, AC, AB, AsAz, etc.) dan como resultado diferentes grados de movilidad y biodisponibilidad. Los potenciales redox y el pH son los factores más importantes que controlan la especiación y ocasionan la elevada movilidad del elemento y la profunda variación en su concentración en los cuerpos de agua (subterráneas, lagos, mar, aguas profundas, ríos, etc.). El As(III) es la forma más móvil y, a su vez, la más tóxica. Los compuestos orgánicos están ampliamente distribuidos y se encuentran principalmente en organismos marinos.

Como se mencionó, la presencia de As en aguas de consumo ha ocasionado la diseminación de arsenicosis (HACRE), que se presenta con diferentes síntomas a nivel mundial. La incidencia mundial es muy alta: podrían estar afectados unas 200 millones de personas, 14 millones en AL. La presencia de altos niveles de As en el agua es un tema prioritario de preocupación ambiental, y para comenzar a resolver el problema, se necesitan datos de su distribución geográfica y geológica y movilidad en agua subterránea, suelos, y absorción por las plantas. Se necesitan también metodologías de determinación de As a nivel de trazas, compatibles con los límites impuestos por la legislación para agua potable y que permitan conocer las cantidades presentes en alimentos y evaluar tecnologías de remoción.

Respecto de las tecnologías de remoción, si bien existen métodos convencionales bien comprendidos para el tratamiento en plantas para localidades grandes o medias, dado que la mayor proporción de la población afectada habita en zonas rurales o periurbanas dispersas y en condiciones socioeconómicas graves, es

fundamental el desarrollo y puesta a punto de tecnologías económicas de abatimiento de As que sean eficientes y amigables para las poblaciones más necesitadas, y fácilmente implementables.

Resulta preocupante que las dramáticas consecuencias de la ingesta de agua con altos contenidos de arsénico sobre la salud humana no sean aún perceptibles por la mayoría de las autoridades, especialistas en salud o la comunidad en general, tal vez –queremos pensar– por ignorar el problema. La presencia de altos niveles de As natural en aguas no solo limita el uso de estos recursos para agua potable y otros propósitos, sino que indirectamente impide el crecimiento socioeconómico. Por ello, la situación actual de conocimiento incompleto sobre la presencia de As, los problemas de salud relacionados, el hecho de que la presencia de As en agua y alimentos sea ignorada y no pueda ser percibida por la población en tiempos razonables, así como la falta de aplicación de métodos de tratamiento en zonas que así lo requieren, necesitan un serio abordaje. Dado que no existe tratamiento curativo para controlar la enfermedad, las autoridades sanitarias deben realizar promoción de la salud, prevención de la contaminación y saneamiento ambiental, es decir, concientizar sobre la necesidad de consumir agua potable para mantener la salud y explicar los riesgos de beber agua con As. Se debe fomentar la educación y realizar vigilancia epidemiológica y ambiental para la detección precoz.

Para paliar la situación se pueden ofrecer metodologías económicas de potabilización, según las características hidrogeológicas, geográficas, sanitarias y económicas de las comunidades afectadas. Los métodos que se brinden deberían ser adecuados y eficientes, socialmente aceptables y fácilmente implementables por la misma población [16]. La aplicación y diseminación de la(s) tecnología(s) debe encararse como una acción conjunta de autoridades, ONG, compañías oferentes de productos y tecnologías, el ámbito científico y tecnológico, y la sociedad en su conjunto, teniendo en cuenta que no podrá resolverse este dramático problema sin la participación de todos estos actores. En nuestro país en particular, debido a la gran cantidad de personas que pueden estar afectadas, esta deberá ser una política de Estado conducida por las autoridades del gobierno nacional, acompañadas por los gobiernos regionales y locales, donde el impacto del problema sea mayor. La acción más correcta sería brindar a las comunidades afectadas sistemas adecuados y sustentables para el saneamiento del agua con instalación de redes de agua potable.

Bibliografía

- [1] Bundschuh, J.; Pérez Carrera, A. y Litter, M. I. (eds.) (2008). *Distribución del arsénico en la región Ibérica e Iberoamericana*. Buenos Aires, Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- [2] Litter, M. I.; Armienta, M. A. y Farías, S. S. (eds.) (2009). *Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos*. Buenos Aires, Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- [3] Bundschuh, J. et al. (2012). "One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries", *Science of Total Environment* 429, pp. 2-35.
- [4] Hughes, M. F. et al. (2016). "Arsenic Exposure and Toxicology: A Historical Perspective", *Toxicological Sciences* 123, pp. 305-332.
- [5] Vahter, M. (2002). "Mechanisms of arsenic biotransformation", *Toxicology*, 181-182, pp. 211-217.
- [6] Smedley, P. L. y Kinniburgh, D. G. (s.f.). *United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water*, disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/who/arsin.pdf> (acceso 19 de septiembre de 2016).
- [7] Biagini, R. E. (1966). "Hidroarsenicismo crónico y cáncer de pulmón", *Archivos Argentinos de Dermatología* 16, pp. 172-184.
- [8] IARC. International Agency for Research on Cancer (2004). *Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Drinking-water Disinfectants and Contaminants, including Arsenic*. Lyon, p. 84.
- [9] World Health Organization (2004). *Guidelines for drinking-water quality*. 3ª ed., Vol. 1. Recommendations. Geneva, WHO.
- [10] EPA. US Environmental Protection Agency (1988). *Special Report on Ingested Inorganic Arsenic: Skin Cancer; Nutritional Essentiality*. EPA 625/3-87/013. 1988 U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment.

[11] **Bardach, A. et al.** (2015). "Epidemiology of chronic disease related to arsenic in Argentina: a systematic review", *Science of Total Environment* 538, pp. 802-816.

[12] **Figueiredo, B. R. et al.** (2010). "Medical geology studies in South America", en Selinus, O.; Finkelman, R. B. y Centeno, J. A. (eds.): *Medical Geology: A Regional Synthesis*. Netherlands, Book Series International Year of Planet Earth, Springer, pp. 79-106.

[13] **Bhattacharya, P. et al.** (2006). "Distribution and mobility of arsenic in the Río Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina", *Science of Total Environment* 358, pp. 97-120.

[14] **Goyenechea, M.** (1917). "Sobre la nueva enfermedad descubierta en Bell-Ville", *Rev. Med. de Rosario* 7, p. 485.

[15] **Ayerza, A.** (1917). "Arsenicismo regional endémico (keratodermia y melanodermia combinadas) (continuación)", *Boletín de la Academia Nacional de Medicina de Buenos Aires* 2-3, pp. 41-55.

[16] **Litter, M. I.** (2010). "La problemática del arsénico en Argentina: el HACRE", *Revista de la Sociedad Argentina de Endocrinología Ginecológica y Reproductiva (SAEGRE)* 17, pp. 5-10.

[17] **Hopenhayn-Rich, C. et al.** (1996). "Bladder cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Córdoba, Argentina", *Epidemiology* 7, pp. 117-124.

[18] **Hopenhayn-Rich, C.; Biggs, M. L. y Smith, A. H.** (1998). "Lung and kidney cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Córdoba, Argentina", *International Journal of Epidemiology* 27, pp. 561-569.

[19] **Bundschuh, J.; Litter, M. I. y Bhattacharya, P.** (2010). "Targeting arsenic-safe aquifers for drinking water supplies", *Environmental Geochemistry and Health* 32, pp. 307-315.

[20] **Litter, M. I.; Sancha, A. M. e Ingallinella, A. M.** (eds.) (2010). *Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en*

aguas. Buenos Aires, Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

[21] **Cortina, J. L. et al.** (2016). “Latin American experiences in arsenic removal from drinking water and mining effluents”, en Kabay, N. y Bryjak, M. (eds.): *Innovative Materials and Methods for Water Treatment-Separation of Cr and As*. AK Leiden, CRC-Taylor & Francis, pp. 391-416.

[22] **Bundschuh, J. et al.** (2010). “Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Iberoamerica - A critical analysis”, *Water Research* 44, pp. 5828-5845.