



La electrocoagulación (EC): una alternativa para el tratamiento de agua contaminada con arsénico

• Varios estados de la República sufren este delicado problema

María de Lourdes Rivera Huerta, Alejandra Martín Domínguez, Martín Piña Soberanis, Sara Pérez Castrejón y José Edy García Espinosa.

La exposición continua a la ingestión de arsénico vía el agua se asocia a problemas neurológicos, cardiovasculares y dermatológicos, así como a efectos carcinogénicos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un valor guía provisional de arsénico en el agua potable de 10 $\mu\text{g/L}$, en vista de la alta incertidumbre en la evaluación del riesgo por la carcinogenicidad de este metaloide, el límite práctico de cuantificación en el intervalo de 1 a 10 $\mu\text{g/L}$ y la dificultad para removerlo del agua.

Considerando lo anterior, la legislación mexicana modificó el año 2000 la Norma Oficial Mexicana, NOM 127 SSA1-1994, a fin de establecer un límite permisible de 25 $\mu\text{g/L}$ de arsénico en agua para uso y consumo humano.

En México no existe actualmente un cálculo exacto de la población expuesta a la ingestión de arsénico a partir del agua; sin embargo, se conoce que son varias las localidades del país cuyas fuentes de abastecimiento se encuentran contaminadas con este metaloide. Tales localidades se ubican en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Hidalgo y Guerrero. En la mayoría de los casos aún no se implementa un proceso de tratamiento debido a varias razones, entre las que se destacan los costos de la inversión inicial y de la operación, y el mantenimiento de la planta o de los equipos de tratamiento.

Hoy en día existen procesos que ofrecen altas eficiencias de remoción de arsénico, como la adsorción en alúmina activada o por hidróxidos férricos, el intercambio iónico en resinas y la ósmosis inversa; sin embargo, todos ellos presentan limitantes al aplicarse a las fuentes de abastecimiento que existen en México, debido a que requieren la adición y/o el manejo de agentes químicos, la importación de equipos o partes consumibles, o sufren el desaprovechamiento de entre el 20 y el 40% del caudal total del agua, misma que se desecha a través de la corriente de rechazo como en el caso de la ósmosis inversa, o en la etapa de regeneración de los procesos de adsorción e intercambio iónico. Un inconveniente más de estas tecnologías es que generan una considerable cantidad de contaminantes secundarios con un alto contenido de arsénico, tales como lodos, soluciones de regeneración de carácter básico o ácido, o corrientes de agua de rechazo.

La coagulación-floculación mediante sales de hierro (III) es un método de tratamiento en el que este metal reacciona con la alcalinidad del agua para formar hidróxidos férricos, compuestos que forman pequeños conglomerados insolubles llamados "flóculos". El arsénico se liga a los flóculos de hidróxido férrico formados, que posteriormente son removidos por sedimentación y/o filtración en lechos granulares. Este tratamiento tiene la desventaja de requerir valores de pH neutros o ligeramente ácidos en el agua para tener altas eficiencias de remoción, además de que consume parte de la alcalinidad del agua.

La EC es una alternativa de tratamiento para la remoción del arsénico del agua. A diferencia de la coagulación química, el catión coagulante es generado en el agua contaminada por la oxidación electrolítica del ánodo. En este proceso, las especies iónicas son removidas por

reacción con: a) un ión de carga opuesta, y b) con los flóculos de hidróxidos metálicos generados.

La EC tiene las siguientes ventajas: requiere equipos relativamente simples; es fácil de utilizar y su operación es flexible; los flóculos formados por EC son similares a los producidos por coagulación química (excepto que los primeros tienden a ser mucho más largos, contienen menos agua superficial, son ácido-resistentes y son más estables, y por ello pueden ser separados más fácilmente por filtración); en la celda de EC los procesos electrolíticos son controlados eléctricamente sin dispositivos mecánicos, lo que requiere menos mantenimiento, además de que los componentes del sistema pueden ser fabricados en el país.

En el IMTA se llevaron a cabo el diseño y la optimización de un reactor semipiloto a escala, en el cual se utilizan ánodos de sacrificio que se corroen mediante la aplicación de una corriente eléctrica, con el objeto de liberar un catión coagulante de hierro en el agua. El reactor de EC usado en este estudio es de mezcla hidráulica y a flujo pistón, y su interior está dividido con pantallas deflectoras que a la vez funcionan como electrodos. Esta configuración hidráulica disminuye los problemas de zonas muertas y cortocircuitos. Pruebas a flujo continuo han permitido remociones mayores al 96% con agua cuyo contenido inicial de arsénico fue de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.5 mg/Liv. Los costos de operación de este tren de tratamiento se estiman en valores inferiores a \$1/m³. La siguiente fase del estudio se enfoca al escalamiento del proceso, por lo que actualmente se trabaja en la construcción de una planta piloto para un gasto de 1 litro por segundo.

Los residuos o lodos producidos en la EC son básicamente especies químicas de hierro ligadas al arsénico, que en su mayoría se encuentran en forma hidratada. El volumen de los lodos producidos en la EC es 50% menor que lo que se obtiene por coagulación química, debido a que los primeros están menos hidratados. Debido a su composición, estos residuos deben ser tratados para retirar de ellos la mayor



Sistema experimental de electrocoagulación.

cantidad de agua posible y obtener un producto fácil de manejar y, asimismo, con el mínimo volumen. El lodo deshidratado debe disponerse en lugares pertinentes, protegido de la intemperie para evitar su dispersión o su disolución.

Referencias

i World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality incorporating first addendum. Vol.1. Recommendations. 3a ed, Génova, Suiza, 2006, p. 306.

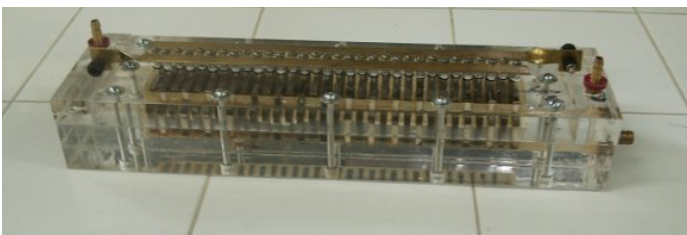
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf

ii Diario Oficial de la Federación, "Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización", México, miércoles 22 de noviembre de 2000.

iii Información proporcionada por la Subgerencia de Explotación y Monitoreo Geohidrológico de la Gerencia de Aguas Subterráneas, Comisión Nacional del Agua, México, 2007.

iv Tecnologías de Remoción de arsénico. Tercera etapa. Informe final, Proyecto interno TC-0707.1.

v Parga, José R., David L. Cocke., Jesús L. Valenzuela, Jewel A. Gomes, Mehmet Kesmez, George Irwin, Héctor Moreno y Michael Weir, "Arsenic removal via electrocoagulation from heavy metal contaminated groundwater in Comarca Lagunera, México", Journal of Hazardous Materials B-124, 2005. pp. 247-254.



Reactor de electrocoagulación con electrodos de acero.



Gaceta del IMTA

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Número 21, Enero del 2009

Evaluación del Impacto y del Riesgo Ambiental

- **Busca ser una herramienta rigurosa, que permita hallar también las más eficaces medidas de mitigación**

María Antonieta Gómez Balandra.

Los estudios de impacto y riesgo ambiental son un requerimiento que la SEMARNAT, a través de la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA), solicita para las obras y actividades federales que se encuentran en la etapa de planeación. En la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA) y su Reglamento, se establecen las líneas para evaluar los impactos ambientales en las distintas etapas de los proyectos. Para ello, es necesario elaborar una Manifestación de Impacto Ambiental, que puede ser o particular o regional, dependiendo de la extensión del proyecto y las características de sus impactos. Las guías sectoriales para dichas manifestaciones señalan los requerimientos de información y alcances de la evaluación del referido impacto.

Estos alcances se han ido transformando, tanto en su gestión como en la profundidad con que se hacen los estudios multidisciplinarios que integran una manifestación de impacto ambiental, sobre todo si es regional.

La definición de la EIA propuesta en los principios para aplicar las mejores prácticas de la Asociación Internacional de Impacto Ambiental, la caracterizan como el proceso de identificación, predicción, evaluación y mitigación de los efectos biofísicos, sociales y otros impactos relevantes ocasionados por propuestas de desarrollo, previa la toma de decisiones mayores y la realización de compromisos.

A nivel federal, la gestión de los proyectos ha llevado al

IMTA a participar en importantes reuniones de trabajo con la DGIRA, donde se han discutido las estrategias para establecer los límites de los Sistemas Ambientales Regionales (SAR's) de proyectos que requieren una manifestación de impacto ambiental regional (MIA-R), por incidir tanto en la estructura de las comunidades como en los procesos ecológicos, así como por contar con obras dispersas y presentar impactos acumulativos, sinérgicos y residuales.

Por otro lado, también se han revisado algunas estrategias para evaluar los impactos ambientales sobre temas emergentes, tales como el caudal ambiental, el pago por servicios ambientales, la integridad y la estructura funcional, además de la potencial compensación ecológica para los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Para proyectos con alcance regional, como las presas hidroeléctricas, de riego, abastecimiento de agua e instalaciones de gas natural licuado, entre otras, se ha participado en estudios específicos y especializados para establecer las condiciones base o prístinas de un ecosistema, su comparación con las condiciones iniciales previas al proyecto, los escenarios con el proyecto mismo y con sus medidas de mitigación.

Los temas con los que el IMTA ha participado comprenden los aspectos hidrológicos, hidrometeorológicos, hidráulicos, de aguas subterráneas, calidad del agua, contaminación difusa, caudales ambientales, caracterización de macroinvertebrados bentónicos y manejo de cuencas e indicadores ambientales, además de hacer o participar en la integración y evaluación de los impactos ambientales.

Desde el punto de vista de la gestión de proyectos de competencia estatal, desde 1999 el IMTA ha formado

parte del Comité Técnico de Impacto Ambiental de la Comisión de Agua y Medio Ambiente del Estado de Morelos. Este comité se creó con la participación de las distintas instituciones del gobierno relacionadas con la autorización del uso del suelo y fraccionamientos, asignaciones de agua y descargas residuales, derribo de árboles y otras afectaciones ecológicas por el desarrollo de las obras y otras actividades. En el comité participan, además, representantes de los municipios y de la Federación de Colonos del Estado de Morelos. El análisis de la mayoría de los proyectos se hace previamente a su desarrollo, y se ha incidido sobre todo en informar y tomar en cuenta las opiniones de diversas instituciones, incluyendo las municipales donde se realizan las obras. Asimismo, se ha incidido en establecer una secuencia adecuada y coordinada en la autorización de las obras, revisar los instrumentos de planeación a los que deba sujetarse cada proyecto, considerar el tratamiento de aguas residuales y el manejo del drenaje pluvial y diseñar las instalaciones sanitarias e hidráulicas, así como capacitar e interactuar ininterrumpidamente en el seno del Comité.

Para los estados de Veracruz y México el IMTA ha hecho, además de la evaluación de impacto, la de riesgo ambiental. En ambas, ha seguido las guías y las normas correspondientes, además de ceñirse a los estándares respectivos y cubrir los requisitos de registro en los padrones de prestadores de servicios. La evaluación de riesgo se ha hecho principalmente para el manejo de cloro en plantas potabilizadoras y para la disposición final de residuos sólidos de manejo especial, en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales. Mediante estos estudios se establecen las zonas de alto riesgo y amortiguamiento, con los tiempos y distancias en que puedan alcanzarse las concentraciones de interés por sus daños a la salud de las poblaciones y a los recursos naturales.

Actualmente, la participación multi-institucional, inter y en algunos casos trans- disciplinaria, representa un reto para la aplicación de las mejores prácticas de evaluación de impactos ambientales, ya que los juicios de los expertos de cada disciplina se constituyen en un elemento clave para establecer la significación de los impactos, tomando en cuenta los límites de tiempo, información y recursos disponibles, así como los costos para la obtención de datos y la comparación con estándares, a veces inexistentes para cada componente ecológico.

La evolución del impacto ambiental se orienta actualmente en muchos países, sin que México sea la excepción, a convertirse en una herramienta rigurosa que aplique la “mejor ciencia posible”, interdisciplinaria, efectiva, focalizada, relevante, transparente, útil,

efectiva y participativa. Se busca que esta herramienta complete su ciclo de seguimiento y retroalimentación de la evaluación de impactos, y de la efectividad de las medidas de mitigación.

Por otro lado, en términos de evaluación del riesgo, debido a las características particulares de los sitios donde se ubican los proyectos, también ha sido necesario hacer estudios específicos de la presencia de metales y su potencial migración. Se cuenta, para ello, con la participación de personal del Servicio Geológico Mexicano (antes COREMI) y del Servicio Geológico de Estados Unidos, que evalúan las concentraciones ambientales de referencia en los cuerpos de agua asociados al río que vaya a ser embalsado.

Las concentraciones obtenidas, todas por debajo de los estándares nacionales e internacionales, se evaluaron también según el enfoque de riesgo a la salud, determinándose una probabilidad menor a 1×10^6 de efectos por ingesta de agua, mientras que el riesgo de su bioacumulación por parte de las comunidades acuáticas, dado su bajo estándar, presentaba una probabilidad mayor.

Finalmente, la evaluación del impacto ambiental se está transformando asimismo en una evaluación estratégica sectorial o regional que permita reconocer los impactos, no sólo en proyectos individuales, sino en los de desarrollo regional de políticas, planes y programas a corto, mediano y largo plazos, para el conocimiento y aplicación de las mejores prácticas de preservación y conservación de los ecosistemas, así como para la mitigación y compensación de los impactos.



El “Paso de la reina”, en el río Verde, municipio de Santiago Janiltepec, Oaxaca. Este lugar está sujeto a evaluación de impacto y riesgo ambiental por el proyecto de construir en él una presa hidroeléctrica.