



UNA PROPUESTA DE ABORDAJE MULTIRREFERENCIAL DEL HACRE. POSIBLES VINCULACIONES ENTRE QUÍMICA Y SALUD

A MULTIREFRENICAL APPROACH TO HACRE. POSSIBLE LINKS BETWEEN CHEMISTRY AND HEALTH

UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM MULTIREFRENICAL PARA O HACRE. POSSÍVEIS LIGAÇÕES ENTRE QUÍMICA E SAÚDE

Martín Pégola* , Andrea Revel Chion**

Cómo citar este artículo: Pégola, M. y Revel Chion, A. (2024). Una propuesta de abordaje multirreferencial del HACRE. Posibles vinculaciones entre química y salud. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 19(2), 273-289. <https://doi.org/10.14483/23464712.21444>

Resumen

El hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) es una enfermedad grave de larga evolución, provocada por el consumo de aguas contaminadas con arsénico que se presenta en distintas regiones del mundo. En Latinoamérica afecta a países como Argentina, Brasil, México, Colombia y Chile. Debido a la postergada aparición de los síntomas luego de consumir agua con arsénico por varios años, las consultas médicas suelen realizarse cuando la población posee síntomas evidentes del efecto de la toxicidad del arsénico que se corresponden con estados avanzados de la enfermedad. A pesar de la relevancia de la problemática, el hidroarsenicismo es una enfermedad poco conocida por las poblaciones que consumen agua con arsénico, y como hipótesis aquí formulada, no suele tratarse como una problemática de salud en el contexto educativo de la región. En este sentido, se realizó un relevamiento de propuestas educativas en torno al arsénico en revistas latinoamericanas de Enseñanza de las Ciencias, entre 2018 y 2023. Aquí se expone una serie de reflexiones con el objetivo de generar una propuesta de debate educativo, desde la perspectiva multicausal/multirreferencial de la salud, que enfatice en aspectos químicos y bioquímicos de la problemática. En función de las vinculaciones entre esta enfermedad y los modelos químicos que permiten explicar la presencia de arsénico en agua, y sus efectos en los humanos, aquí se propone una transposición didáctica para generar modelos químicos escolares, y

Recibido: 27 de Octubre del 2023; aprobado: 24 de Marzo del 2024

* Doctor en Química Biológica, Instituto CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, martinpergola@ccpems.exactas.uba.ar.

** Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Instituto CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, andrearevelchion@gmail.com.

así incluir el tratamiento escolar de la problemática en la escuela secundaria, como una oportunidad de relacionar química y salud. Como resultado de esas reflexiones, se generó una unidad didáctica sobre el HACRE con potencial para ser abordada multidisciplinariamente en materias de Ciencias Naturales como química, biología o salud, en relación con áreas de las Ciencias Sociales como geografía, historia y economía, entre otras.

Palabras clave: arsénico, arsenicosis, química en contexto, multicausalidad, multidisciplinariedad.

Abstract

Endemic Regional Chronic Hydroarsenicism is a serious, long-term disease caused by the consumption of water contaminated with arsenic that occurs in different regions of the world. In Latin America it affects countries such as Argentina, Brazil, Mexico, Colombia and Chile, the first being the most affected country. Due to the delayed appearance of symptoms after consuming water with arsenic for several years, medical consultations are usually made when the population has obvious symptoms of the effect of arsenic toxicity, which implies advanced stages of the disease. Despite the relevance of the problem, it is usually a disease little known by the populations that consume water with arsenic and, we consider as a hypothesis, that it is not usually treated as a health problem in the Latin American educational context. For this reason, we carried out a survey of educational experiences around arsenic in Latin American science education magazines, between 2018-2023. In this work we present a series of reflections with the objective of generating a proposal for an educational approach to it, from the multi-causal/multi-referential perspective of health, emphasizing the chemical and biochemical aspects related to the problem. Due to the links that exist between this disease and the chemical models that explain the presence of arsenic in water and its effects on humans, we propose a possible didactic transposition to generate school chemical models, to address the school treatment of the problem in school. secondary school, as an opportunity to relate chemistry and health. As a result of these reflections, a teaching unit on Endemic Regional Chronic Hydroarsenicism was generated with the potential to be addressed multidisciplinary in natural science subjects such as chemistry, biology or health, in relation to social science subjects such as geography, history, and economics, among others.

Keywords: Arsenic. Arsenicosis. Chemistry in Context. Multicausality. Multidisciplinarity.

Resumo

O hidroarsenicismo crônico regional endêmico é uma doença grave e de longa duração causada pelo consumo de água contaminada com arsênico que ocorre em diferentes regiões do mundo. Na América Latina afeta países como Argentina, Brasil, México, Colômbia e Chile, sendo o primeiro o país mais afetado. Devido ao atraso no aparecimento dos sintomas após o consumo de água com arsênico por vários anos, as consultas médicas geralmente são feitas quando a população apresenta sintomas evidentes do efeito da toxicidade do arsênico, o que implica estágios avançados da doença. Apesar da relevância do problema, costuma ser uma doença pouco conhecida

pelas populações que consomem água com arsênico e, consideramos como hipótese, que não costuma ser tratada como problema de saúde no contexto educacional latino-americano. Por esse motivo, realizamos um levantamento de experiências educativas em torno do arsênico em revistas latino-americanas de educação científica, entre 2018-2023. Neste trabalho apresentamos uma série de reflexões com o objetivo de gerar uma proposta de abordagem educativa a ela, na perspectiva multicausal/multirreferencial da saúde, enfatizando os aspectos químicos e bioquímicos relacionados ao problema. Pelas ligações que existem entre esta doença e os modelos químicos que explicam a presença de arsênico na água e seus efeitos no ser humano, propomos uma possível transposição didática para gerar modelos químicos escolares, para abordar o tratamento escolar do problema na escola. ensino médio, como oportunidade de relacionar química e saúde. Como resultado dessas reflexões, foi gerada uma unidade de ensino sobre Hidroarsenicismo Crônico Regional Endêmico com potencial para ser abordada multidisciplinarmente em disciplinas de ciências naturais como química, biologia ou saúde, em relação a disciplinas de ciências sociais como geografia, história e economia, entre outras.

Palavras chave: Arsênico. Arsenicose. Química em Contexto. Multicausalidade. Multidisciplinaridade

1. Introducción

1.1 El abordaje del HACRE como una compleja problemática de salud

El hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) es una enfermedad grave de larga evolución, provocada por el consumo de aguas contaminadas con arsénico (Litter *et al.*, 2020a, 2020b), que afecta a más de 226 millones de personas en el mundo, quienes en su mayoría ignoran que la padecen. En Latinoamérica se la conoce como HACRE, mientras que en otras partes del mundo se denomina *arsenicosis*.

Esta problemática de salud pública se ha identificado en 13 países de Latinoamérica y afecta en la actualidad a decenas de millones de personas (Litter, 2022). De todos los países de la región, Argentina es probablemente el más comprometido, pues se estima que aproximadamente 4 millones de personas distribuidas en 16 provincias consumen agua contaminada con arsénico.

La enfermedad fue mencionada por primera vez por el Dr. Goyenechea (1917) que la denominó la “enfermedad de Belle Ville”, pues en esta ciudad ubicada en la provincia de Córdoba (Argentina) se detectaron la mayoría de los casos. Los doctores Ayerza y Goyenechea describieron las manifestaciones cutáneas de la enfermedad y la relacionaron directamente con el consumo de agua contaminada con arsénico por tiempo prolongado (Ayerza, 1917, 1918a, 1918b).

Las otras zonas de Latinoamérica afectadas por la presencia de arsénico en agua son:

- *Bolivia*. Se ha identificado presencia de As en zonas con actividad minera, yacimientos de minerales, manifestaciones geotérmicas y lixiviación de rocas volcánicas, en el área del río Pilcomayo, en la cuenca del lago Poopó, en las provincias de La Paz y Oruro (Litter *et al.*, 2020a). En los lagos Titicaca y Uru Uru, se detectaron niveles de bioacumulación muy importantes en perifiton (Sarret *et al.*, 2019).

- *Brasil*. La minería es una fuente importante de arsénico en el “Cuadrilátero de Hierro”, en el estado de Minas Gerais (Matschullat et al., 2009); su presencia está relacionada con la lixiviación natural de rocas y suelos, así como con las operaciones mineras. También se encontró arsénico en el Valle de la Ribeira, al sureste de Brasil, como resultado de la producción y fundición de minerales de plomo y cinc, y en el distrito de Santana, en la región amazónica, producido a partir de la minería de manganeso (Ferrecio y Sancha, 2006; Litter et al., 2020a).
- *Chile*. Fue detectada en la zona de Atacama, en ciudades como Antofagasta, Arica e Iquique, naturalmente ricas en arsénico, que contaminan el agua (Litter et al., 2020a).
- *Colombia*. Si bien la geología de Colombia indica la presencia de rocas que contienen minerales de arsénico, hay pocos estudios que evalúen las concentraciones presentes en el agua. Se encontró arsénico en las aguas del río Marmato, en el distrito minero de Marmato (Bundschuh et al., 2012; Litter et al., 2020a), en otras zonas con actividad minera (Alonso et al., 2014; Litter et al., 2020a) y en algunos municipios específicos como Chinú y Corozal (Cogollo y Negrete, 2016).
- *México*. La problemática se concentra principalmente en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (Litter et al., 2020a; Osuna-Martínez et al., 2021).

Existe consenso entre los investigadores en que podría haber otras zonas con altas concentraciones de arsénico en agua, por lo cual la problemática podría extenderse a otras regiones, pero en muchos casos no hay documentación que dé cuenta de esa situación. Por esta razón, es necesario realizar más muestreos e investigaciones en distintas zonas de Latinoamérica, para elaborar un relevamiento más completo de la presencia de As en el agua.

En el desarrollo de esta enfermedad se identifican cuatro etapas (García, 2011), según el modelo de prevención que propone el modelo de Leavell y Clark (1965):

- *Periodo prepatogénico*. Las poblaciones están expuestas a concentraciones elevadas de arsénico inorgánico en el agua de consumo diario, que no es detectable en las muestras de tejidos, sangre ni orina.
- *Periodo preclínico*. Los sujetos afectados no muestran síntomas, pero el arsénico sí puede ser detectado en muestras de tejidos y de orina.
- *Periodo clínico*. Se presentan manifestaciones en la piel. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que esta etapa requiere la exposición sostenida al arsénico de cinco a diez años.
- *Periodo de complicaciones*. Se observan síntomas clínicos más graves y afectación de los órganos internos, como desarrollo de tumores o cánceres que afectan la piel u otros órganos.

La postergada aparición de los síntomas en la población en la etapa clínica conduce a que las consultas médicas se realicen recién cuando las personas afectadas reconocen alguna sintomatología, que ya suele revelar estados avanzados de la enfermedad, en muchos casos vinculada con cánceres de distintos tipos (Pérgola y Revel Chion, 2023). La principal sintomatología ligada al HACRE en su forma crónica se relaciona con alteraciones cardíacas y neurológicas, problemas cardiovasculares y del sistema digestivo, lesiones en el hígado, riñones, hiperqueratosis cutánea y, en su etapa más avanzada, neoplasias y cáncer (Litter et al., 2020b). Es importante señalar que una vez que aparece la enfermedad, no existe tratamiento ni cura.

La problemática del HACRE se localiza en zonas en donde las poblaciones tienen vedado el acceso al agua potable y, por tanto, deben recurrir al consumo de agua de pozos de napas subterráneas

contaminadas con arsénico. Dicha contaminación puede provenir tanto de actividades antropogénicas (minería, procesos industriales [vidrio y cerámicas], uso de pesticidas y herbicidas, fundición de metales, aditivos alimentarios para aves, cerdos y ganado, uso de preservantes para la madera y combustión de combustibles fósiles), como por mecanismos naturales geoquímicos (erosión, actividad volcánica, meteorización de minerales o lixiviación de minerales) (Litter, 2022).

La presencia de arsénico en agua perjudica a comunidades de todas las regiones, sin importar su tamaño; sin embargo, los poblados rurales pequeños o aquellos alejados de los centros urbanos –cuya posibilidad de acceso al agua depende fundamentalmente de perforaciones individuales y “caseras”– suelen ser los más perjudicados (Litter *et al.*, 2020b). Esto se debe a que estas localidades no cuentan, como en los centros urbanos más poblados, con plantas de tratamiento para eliminar el arsénico. Naturalmente, las poblaciones que viven en condiciones socioeconómicas más precarias son las más afectadas.

A pesar de su importancia, desde el punto de vista de salud pública, distintos factores la convierten en una “enfermedad invisibilizada” por el Estado, que no asume políticas para abordarla. Sin políticas adecuadas para su abordaje, ni promoción de la atención primaria de salud, las personas afectadas seguirán accediendo al sistema de salud en la etapa clínica.

1.2 Relevancia del tratamiento educativo del HACRE

Al igual que en el sistema de salud pública y en la sociedad en general, el HACRE es también una enfermedad silenciada en el sistema educativo, donde no se suele tratar en materias de química, biología o salud. En particular, desde la química, pueden existir algunas razones por las cuales no suele tomarse como un ejemplo para ser abordado en la Escuela Media:

- La enseñanza de los modelos químicos en la Escuela Media suele darse de forma descontextualizada de los fenómenos de la vida real que se pretenden explicar, por lo cual pueden existir dificultades para relacionar los modelos con problemáticas de salud, ambiente, alimentación, etc. (Caamaño, 2001, 2006).
- Tradicionalmente, los currículos de química de los sistemas educativos de países occidentales, estuvieron orientados a la enseñanza de modelos de química general e inorgánica, por lo cual abordar una enfermedad como el HACRE, generada por una noxa química, podría presentar ciertas complejidades. A pesar de las modificaciones en los diseños curriculares de los últimos veinte años, la extensión de los programas de química que han de ser enseñados y la escasa carga horaria semanal de la química escolar son factores negativos para la implementación de innovaciones didácticas (Pérgola y Galagovsky, 2020). Existe una tensión entre la enseñanza de contenidos prescritos (o que se prescriben tradicionalmente) y el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes, cuya resolución no resulta sencilla (Pérgola y Galagovsky, 2020).
- Se suele asumir que los contenidos relacionados con salud deberían tratarse desde una perspectiva biologicista, en materias de biología o de salud, y no necesariamente de química.

Según nuestra perspectiva, a pesar de las dificultades que puedan suscitarse, el abordaje educativo del HACRE es una excelente oportunidad para vincular química y salud.

Desde la Enseñanza de la Química, la problemática resulta un buen caso para contextualizar los modelos químicos de Escuela Media, para explicar la presencia del arsénico en agua, su solubilidad, la formación de compuestos de arsénico, la potabilización de agua, etc.

Como fenómeno que concierne a la salud pública, el estudio en todas las escuelas, en particular en las que atienden a las poblaciones afectadas, es un imperativo moral para que estas sean conscientes de la problemática (Pérgola y Revel Chion, 2023). La situación podría agravarse por la naturaleza del conocimiento sobre la salud y la enfermedad, que circula tanto en la sociedad como en las clases de ciencias, que se focalizan casi exclusivamente en modelos biomédicos ligados a enfoques biologicistas (Pérgola y Revel Chion, 2023; Revel Chion *et al.*, 2021; Rosalez, *et al.*, 2020). Asimismo, esta mirada predominantemente biológica tendería, por una parte, a ocultar los fundamentos basados en modelos químicos y bioquímicos necesarios para comprender la distribución del arsénico en la biosfera y su toxicidad para los seres humanos, y por otra, a omitir las condiciones sociales que dan cuenta de qué porción de la población es la más afectada.

En este trabajo se propone una discusión del HACRE apoyada en marcos teóricos de la enseñanza de la salud que se sustentan en su perspectiva multicausal/multirreferencial (Revel Chion, 2015) y en la Enseñanza de la Química en contexto (Pérgola y Galagovsky, 2014, 2020). Es decir que, por un lado, partimos de la necesidad de considerar todas las causas que se entrelazan para la aparición de la enfermedad, que reclaman el apoyo de las referencias disciplinares necesarias para explicarlas (química, biología, geografía, epidemiología y las ciencias ambientales); y por otro, reconocemos esta temática como un caso ejemplar para contextualizar la Enseñanza de la Química en virtud de la centralidad que tienen los modelos de esta disciplina para explicar la presencia del arsénico en el ambiente, su solubilidad en el agua y su toxicidad.

Para ello, desarrollamos un relevamiento del tratamiento de la temática en revistas educativas y de investigación en enseñanza de las ciencias latinoamericanas en los últimos cinco años, para comprobar si existían testimonios o investigaciones

que dieran cuenta de su discusión en el ámbito educativo en Latinoamérica.

Considerando la polisemia del término *modelo*, adherimos a la perspectiva epistemológica del realismo constructivo (Giere, 1992), según la cual los modelos actúan como mediadores entre la teoría y la realidad, y pueden ser analogados con los mapas físicos (Giere, 2006; Izquierdo Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021). Desde aquí, contextualizar la Enseñanza de las Ciencias supone apelar a los modelos científicos para explicar fenómenos de la vida real, en este caso, la enfermedad causada por el consumo crónico de agua con arsénico.

El planteamiento multicausal/multirreferencial supone que las problemáticas de la vida real propuestas en el aula suponen múltiples causas que, para ser tratadas y explicadas en el ámbito escolar, requieren de modelos de distintas disciplinas, pues cada modelo por separado resulta incompleto e insuficiente. Esto no implica que se vayan a tratar didácticamente todos los modelos identificados para discutir la problemática, sino que, según el contexto educativo, se enfatizará o profundizará en algunos de ellos.

En consecuencia, consideramos que los alumnos podrían construir explicaciones sobre la enfermedad, sustentadas en modelos científicos robustos, que promoverán una intervención social y ciudadana consciente, y así constituyan fundamentos referenciales sustentados en esos modelos complejos (Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2014, 2018, 2021a, 2021b).

Los objetivos de este trabajo son:

- Indaga acerca de la existencia de experiencias didácticas de esta problemática en revistas especializadas, recomendaciones didácticas en países latinoamericanos, testimonios o investigaciones que dieran cuenta de su tratamiento a nivel educativo en Latinoamérica.

- Formular aportes didácticos y disciplinares para el planteamiento del HACRE en el contexto educativo.

2. Metodología

Para llevar adelante los objetivos de nuestro trabajo, realizamos una revisión de artículos científicos en revistas latinoamericanas de investigación en Enseñanza de las Ciencias Naturales, así como algunas recomendaciones curriculares de distintos países de Latinoamérica.

Para el caso de las revistas científicas, llevamos adelante una búsqueda en trece revistas latinoamericanas de Brasil, Colombia, México y Argentina, en los números publicados en los últimos cinco años (2019-2023), que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Revistas latinoamericanas de investigación en enseñanza de las ciencias

Revista	País	Números editados (2019-2023)
<i>Educación en Química</i>	México	24
<i>Tecné, Episteme y Didaxis: TED</i>	Colombia	11
<i>Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias</i>	Colombia	14
<i>Revista Perspectivas Journal of Social Sciences</i>	Colombia	12
<i>Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)</i>	Brasil	14
<i>Revista Mexicana de Investigación Educativa (RMIE)</i>	México	19
<i>Pensamiento Americano</i>	Colombia	9
<i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências</i>	Brasil	5
<i>Ciência & Educação (Bauru)</i>	Brasil	8*
<i>Bio-Grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza</i>	Colombia	12
<i>Revista de Educación en Biología</i>	Argentina	10
<i>Educación en la Química</i>	Argentina	10
<i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)</i>	Brasil	8

*A partir de 2020 comenzaron a publicarse la totalidad de los artículos en un solo número por año.

Nota: en la tabla se presentan las revistas en las cuales se realizó el relevamiento de contenidos de química y salud.

La búsqueda se efectuó a partir de los títulos de los artículos de las siguientes palabras claves: “arsénico”, “arsenicosis”, “HACRE”, “salud y química”, “salud y arsénico”.

En cuanto a las orientaciones y recomendaciones educativas de cada país, se revisaron materiales publicados por Argentina, Colombia, Brasil y México:

- *Parâmetros curriculares nacionais (PNC) de Brasil* (Secretaria de Educação Fundamental, 1997a, 1997b, 1997c).
- *Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de Brasil* (Secretaria de Educação Básica, 2018).
- *Núcleos de Aprendizajes Prioritarios (NAP) de Argentina* (Ministerio de Educación, 2012).
- *Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales de Colombia* (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2014).

También emprendimos búsquedas de recomendaciones que apuntaran a posibles vínculos entre química, salud, ambiente, contaminación ambiental, contaminación de agua y acceso al agua potable. Estas servirían como sustento para desarrollar secuencias didácticas acerca de problemáticas como la que aquí se presenta.

3. Resultados

Con el estudio de las trece revistas se buscó identificar artículos que relacionaran las intoxicaciones con arsénico y la salud. Se evitó efectuar búsquedas con palabras claves muy generales (por ejemplo: “química” y “salud”) que hubieran arrojado como resultado un gran número de artículos, pero con poca especificidad en cuanto a la temática propuesta. En la tabla 2 se detallan los resultados de la indagación sobre un total de 189 números de trece revistas.

Tabla 2. Estudio de revistas latinoamericanas de investigación en Enseñanza de las Ciencias

Revista	Arsénico	HACRE	Salud y arsénico	Asenicosis
<i>Educación en Química</i>	12	0	7*	0
<i>Tecné, Episteme y Didaxis: TED</i>	3	1*	2*	0
<i>Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias</i>	0	0	0	0
<i>Revista Perspectivas Journal of Social Sciences</i>	0	0	0	0
<i>Investigações em Ensino de Ciências</i>	0	0	0	0
<i>Revista Mexicana de Investigación Educativa</i>	0	0	0	0
<i>Pensamiento Americano</i>	0	0	0	0
<i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências</i>	0	0	0	0
<i>Ciência & Educação (Bauru)</i>	0	0	0	0
<i>Bio-Crafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza</i>	0	0	0	0
<i>Revista de Educación en Biología</i>	0	0	0	0
<i>Educación en la Química</i>	0	0	0	0
<i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i>	0	0	0	0

*Los artículos encontrados con esa palabra clave son los mismos que los que se encontraron con la palabra clave arsénico.

Nota: en la tabla se presentan los artículos encontrados para las búsquedas con las distintas palabras clave.

Solo se encontraron artículos que trataran el arsénico en dos revistas: doce artículos en *Educación en Química* (México) y tres artículos en *Tecné, Episteme y Didaxis: TED* (Colombia).

De los doce artículos encontrados en la revista *Educación en Química* (tabla 2), solo uno hace una referencia a un capítulo de libro que menciona una propuesta para trabajar la contaminación de agua con arsénico, aunque el artículo presenta un análisis de la soberanía y seguridad alimentaria, con énfasis en la equidad de género, a partir del trabajo de las mujeres en las quintas bonaerenses (Arango *et al.*, 2023). Un segundo artículo que analiza la geografía como metaciencia, para temas de alimentación, hace referencia a que “en la escuela secundaria se incorporó una secuencia didáctica sobre el arsénico en agua desde una perspectiva geográfica” (Lampert y Cortizas, 2023, p. 21). En ambos casos se menciona tangencialmente la contaminación del arsénico en el agua, pero no se menciona el tratamiento de la enfermedad de HACRE como consecuencia del consumo de dicha agua.

En esa misma revista, los siete artículos encontrados con la palabra clave “salud y arsénico” se repiten con los doce artículos encontrados para la palabra clave “arsénico” (tabla 2).

De los tres artículos encontrados en la revista *Tecné, Episteme y Didaxis: TED* (tabla 2), solo uno hace referencia a la contaminación de agua por arsénico y a la enfermedad HACRE (Lampert y Porro, 2020). Dicho artículo describe el desarrollo de una secuencia didáctica centrada en la enseñanza de contenidos sobre enfermedades transmitidas por alimentos, donde se menciona que solamente en una de esas clases el docente expone la problemática del HACRE:

Se trabaja sobre la contaminación química de los alimentos por metales pesados y agroquímicos, principalmente. Se centraliza en el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), enfermedad

causada por la ingesta de arsénico. El docente hace una breve exposición sobre la temática. Luego se debate sobre las causas naturales y antropogénicas de la contaminación de agua por arsénico y sobre cómo la CyT influyen de forma positiva y negativa en la prevalencia de arsénico en agua. (Lampert y Porro, 2020, p. 65)

El artículo encontrado con la palabra clave "HACRE", y los dos artículos encontrados con la palabra clave "salud y arsénico", se repiten con los tres artículos encontrados con la palabra clave "arsénico" (tabla 2).

Como puede observarse, la problemática del consumo de agua contaminada con arsénico, y el HACRE como enfermedad, es escasamente considerada para desarrollar unidades didácticas y mencionada por los mismos autores.

4. Discusión

Desde nuestro punto de vista, la ausencia del planteamiento de la problemática del HACRE en las revistas educativas da cuenta de la afirmación respecto a que esta es una enfermedad desatendida tanto en su diagnóstico como en su enseñanza.

Esto representa una oportunidad para desarrollar propuestas didácticas centradas en su discusión, que permitan, a su vez, investigación educativa en torno de su implementación en las aulas.

Hemos elaborado una propuesta didáctica que enfatiza en los modelos químicos indispensables para comprender la enfermedad, y el modelo multicausal/multirreferencial, sobre emergencia de enfermedades. La propuesta se dio a conocer mediante una convocatoria específica a docentes de biología, química, materias de carreras de formación docente y en un taller de divulgación científica ("Crónicas de intoxicaciones con arsénico. Química y salud para el abordaje del HACRE"), organizado en el marco de la Semana de la Enseñanza de las Ciencias 2023 (Facultad de

Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires). Dicha propuesta es implementada actualmente por docentes de distintas disciplinas y niveles educativos; el análisis de los resultados de la implementación será publicado en trabajos posteriores.

4.1 Los aportes de la enseñanza de la química

4.1.1 Desde el modelo de solubilidad de sustancias

El arsénico es un metaloide relativamente abundante en la corteza terrestre, que forma minerales asociados por lo general a otros elementos metálicos, en particular el hierro (Litter, 2022). Asimismo, está presente en distintas especies químicas con alta solubilidad en el agua.

El arsénico inorgánico es un carcinógeno confirmado, y según la OMS es el contaminante químico más importante del agua utilizada para consumo en todo el mundo (Ravenscroft *et al.*, 2011). La contaminación de los acuíferos subterráneos que se encuentran en contacto con rocas que contienen sales inorgánicas de arsénico en concentraciones variables, es la mayor problemática en relación con este metaloide.

Desarrollar estos aspectos en el ámbito educativo implica el tratamiento del modelo de solubilidad de sustancias en agua, soluciones y el concepto de concentración.

4.1.2 Desde el modelo de toxicidad de sustancias

En seres humanos, una vez ingeridas, las formas solubles de arsénico se absorben en el tracto gastrointestinal (80-90 %), mientras que el resto se excretan mayoritariamente por la orina, sin ser absorbidas ni biotransformadas (Klaassen, 2008; Litter, 2020b).

La excreción por orina sucede los tres primeros días posteriores a la ingesta (50 % al 80 %, principalmente como As(III)), al tiempo que

la parte no excretada experimenta un proceso metabólico que implica su metilación en el hígado (Klaassen, 2008; Litter, 2020b). Actualmente, se considera que la metilación de los compuestos de As aumenta su toxicidad (Klaassen, 2008; Dopp *et al.*, 2010; Hughes, 2002; Hughes *et al.*, 2011; Olmos y Ridolfi, 2018).

Existen dos modelos propuestos para explicar la toxicidad del arsénico, según actúe con estado de oxidación +3 o +5. En el caso del As(III), sus compuestos presentan afinidad por los grupos tioles de las proteínas (-SH), por lo cual inhiben las enzimas o alteran proteínas con estos grupos (Klaassen, 2008; Olmos y Ridolfi, 2018; Hughes 2002; Hughes *et al.*, 2011). A través de este mecanismo, los compuestos de As(III) inhiben casi 200 proteínas y enzimas (Olmos y Ridolfi, 2018), algunas de las cuales están involucradas en el metabolismo celular, lo que conduce a estrés oxidativo (Hunt *et al.*, 2014; Petrick *et al.*, 2000; Hughes 2002; Hughes *et al.*, 2011). La inhibición de enzimas tiene distintas implicaciones en los seres humanos. Por ejemplo, la inhibición de la enzima piruvato deshidrogenasa conduce a una disminución de la síntesis de adenosín trifosfato (ATP) en las células (Hughes, 2002; Olmos y Ridolfi, 2018).

El As(V) actúa con un mecanismo de sustitución competitiva (mimetismo) de los átomos de fósforo por átomos de arsénico, reemplazando el fosfato inorgánico (PO_4^{3-}) por el arseniato (AsO_4^{3-}) en la formación de ATP, por lo cual, en lugar de este, se forma ADP-arseniato (figura 1). Las moléculas de ADP-arseniato son más lábiles que las de ATP, lo que implica que en la primera un grupo fosfato se libera más fácilmente y no pueda actuar como molécula de alta energía, como lo haría el ATP (Hughes, 2002; Olmos y Ridolfi, 2018).

De esta forma, la presencia de As(V) genera problemas en el metabolismo celular, pues supone una disminución de la síntesis de ATP en las células

(Klaassen, 2008; Olmos y Ridolfi, 2018; Hughes 2002; Hughes *et al.*, 2011).

Queda en evidencia que los mecanismos de toxicidad del arsénico, en ambos estados de oxidación, generan especies reactivas de oxígeno que suponen estrés oxidativo, muerte celular, procesos inflamatorios, alteraciones en la proliferación celular y multiplicación de células con ADN dañado (Hunt *et al.*, 2014; Kumagay y Sumi, 2007).

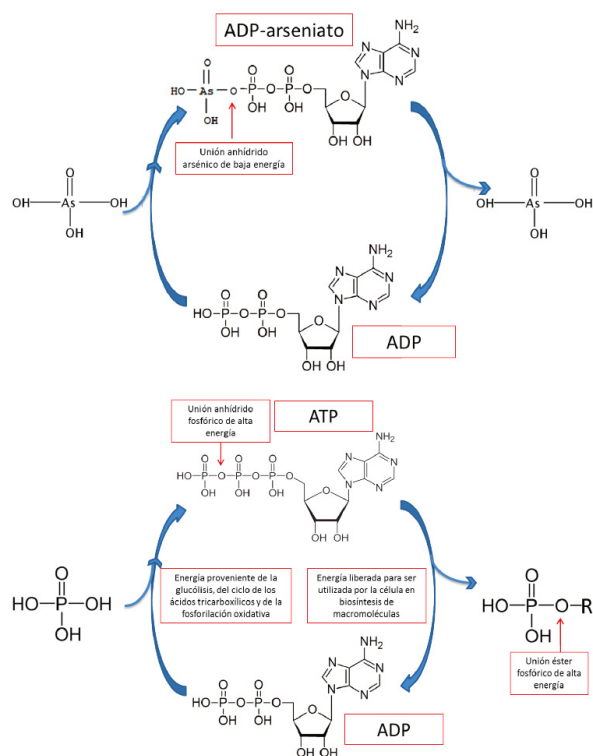


Figura 1. Generación de adenosina trifosfato (ATP) a partir de adenosina difosfato (ADP) (arriba) y formación de ADP-arseniato a partir de ADP (abajo)

Nota: tomada de Olmos y Ridolfi (2018).

La profundidad del tratamiento de estos modelos en la Escuela Media dependerá del contexto, la población de estudiantes, las características del curso específico, y la disciplina donde se elija implementar esta problemática. Según nuestro punto de vista, una transposición didáctica sencilla y aceptable de este complejo modelo bioquímico implicaría asumir que la toxicidad

del arsénico para los seres humanos se sustenta en dos ideas químicas principales: la afinidad del arsénico por los átomos de azufre y su mimetismo con los átomos de fósforo. En el primer caso, se produce la inhibición de proteínas con grupos con átomos de azufre, y en el segundo, el arsénico reemplaza átomos de fósforo en la formación de ATP, lo cual genera moléculas alternativas que se hidrolizan más fácilmente, impidiéndole actuar como molécula de alta energía. En ambos casos, se producen alteraciones del metabolismo celular y la síntesis de ATP como moléculas de alta energía.

4.1.3 Desde el modelo de solubilidad y separación de sustancias por distintos métodos

El arsénico, al igual que los no metales, forma oxosales (compuestos formados por un metal y un oxoanión) y oxoaniones solubles en agua. Por esta razón, los cuerpos de agua o napas subterráneas en contacto con minerales de arsénico suelen tener concentraciones considerables de este. Al encontrarse en solución, el arsénico no puede extraerse fácilmente por métodos físicos como los de sedimentación o filtración. Tampoco puede eliminarse del agua mediante su ebullición –idea comúnmente extendida en la población con el objetivo de potabilizarla (eficaz para eliminar microorganismos)–; por el contrario, conduce a una mayor concentración de arsénico por la evaporación del agua.

Existen distintos tratamientos para eliminar el arsénico del agua, entre las que la ósmosis inversa constituye la técnica más usada por su efectividad (tecnología de purificación que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas más grandes en el agua potable) (Alarcón-Herrera *et al.*, 2013; Litter *et al.*, 2020b), aunque la contracara es su alto costo.

Las empresas que potabilizan y realizan el tratamiento de aguas, obligadas a adecuar sus plantas para eliminar el arsénico, deben afrontar significativos aumentos en los costos; un factor que,

sin duda, hace que estas empresas, así como las que envasan y producen agua mineral, estuvieran interesadas en que la normativa acerca de los límites de arsénico en agua no se estableciera en 10 partes por billón (ppb), tal como recomienda la OMS, sino en valores mayores que, evidentemente, impactaría positivamente en los costos.

Así, en toda Latinoamérica, los propios Estados actúan de manera poco rigurosa en cuanto al cumplimiento de las reglamentaciones que ellos mismos promovieron sobre los límites de concentración de arsénico en agua.

Otro aspecto clave es el número de habitantes afectados por HACRE, generalmente correspondientes a poblaciones desfavorecidas en las que se conjugan otras problemáticas de salud, como el estado nutricional deficitario, las enfermedades gastrointestinales generadas por consumo de agua contaminada por microorganismos, enfermedades renales o hepáticas preexistentes, la sostenibilidad de los recursos hídricos, las condiciones de pobreza y otras variables socioeconómicas. La típica sintomatología tardía del HACRE provoca que estos sectores acudan a la consulta con problemáticas de larga data agravadas por las condiciones descriptas.

4.2 Aportes para la educación científica escolar

Si bien existe una tendencia marcada tanto en la formación docente de ciencias naturales, como en las asignaturas del nivel medio a una estructura fuertemente fragmentada compartimentalizada disciplinariamente (Álvarez-Méndez, 2000), existen en Latinoamérica algunas recomendaciones curriculares y propuestas de trayectos educativos interesantes que promueven el tratamiento de problemáticas complejas que requieren un enfoque multidisciplinario como la del HACRE.

Asimismo, si bien la química enseñada en la Escuela Media era la química general e inorgánica,

encontramos algunas recomendaciones y programas tendientes a incorporar aspectos que vinculan la química con la salud.

En cuanto a la revisión de orientaciones y recomendaciones educativas de materiales publicados por Argentina, Colombia y Brasil (véase “Metodología”), se encontraron los siguientes ejemplos:

- En Argentina, el diseño curricular del ciclo orientado del bachillerato en Ciencias Naturales de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que ofrece ejes temáticos como “Radiación y vida”, “Química en alimentación” y “Química en salud” que persiguen la integración de contenidos (Ministerio de Educación, 2015). Pueden encontrarse algunos ejes similares en los materiales curriculares de la Provincia de Buenos Aires en materias como Salud y Adolescencia, de cuarto año (Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, 2010); Introducción a la Química, de quinto año (Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, 2011a), y Ambiente, Desarrollo y Sociedad, de sexto año, de la Escuela Secundaria (Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, 2011b).
- En Argentina se presentan recomendaciones generales nacionales, enunciadas en los núcleos de aprendizaje prioritarios (NAP). En los correspondientes al ciclo orientado de Ciencias Naturales para la Escuela Media, se propone que

la escuela ofrecerá situaciones de enseñanza que promuevan en las y los estudiantes: [...] La identificación e implicación en problemas científicos actuales de relevancia social y significativos para los estudiantes, como los vinculados al ambiente y la salud, utilizando conocimientos científicos a partir de una reflexión crítica y un abordaje propositivo. (Ministerio de Educación, 2012, p. 2)

- En Colombia, los *Estándares básicos de competencias*, que son orientaciones para promover ciertas competencias educativas pero que no hacen referencia a contenidos específicos, mencionan los vínculos entre salud y distintos aspectos microbiológicos, deportes, alimentación, consumo de fármacos, enfermedades de transmisión sexual, etc. En particular, se señala que sería relevante identificar factores de contaminación en el entorno de los alumnos, y sus implicaciones para la salud (Ministerio de Educación Nacional República de Colombia, 2004).
- En Brasil, los “Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio” señalan como orientación general que

[un] contexto relevante señalado por la LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional) es el ejercicio de la ciudadanía. [...] [L]a propuesta pedagógica debe asumir el hecho trivial de que la ciudadanía no es un deber ni un privilegio de un área específica del currículo, ni debe estar restringida a un proyecto determinado. El ejercicio de la ciudadanía es un testimonio que comienza en la vida cotidiana y debe abordar toda la organización curricular. Las prácticas sociales y políticas y las prácticas culturales y comunicativas son parte integral de la ciudadanía, pero también lo son la vida personal, la vida cotidiana y la convivencia y las cuestiones vinculadas al medio ambiente, el cuerpo y la salud. Trabajar contenidos de Ciencias Naturales en el contexto de la ciudadanía puede significar un proyecto de tratamiento de agua o residuos en una escuela o participar en una campaña de vacunación, o entender por qué los edificios colapsan cuando los materiales utilizados no tienen la resistencia requerida. (Secretaria de Educação Fundamental, 2000, pp. 80-81)

Luego, existen parámetros curriculares específicos para las áreas de Ciencias Naturales, Medio Ambiente y Salud, que presentan en reiteradas oportunidades la posibilidad de combinar aspectos

ambientales, de salud, modelos químicos y de Ciencias Naturales, apelando a problemáticas de la vida real (Secretaria de Educação Fundamental, 2000).

En la práctica escolar las temáticas, son desarrolladas por los docentes que se encuentran a cargo de los cursos; la adopción de estas recomendaciones estará condicionada fuertemente por sus biografías escolares y su formación inicial: serán estos elementos los que determinarán las decisiones que tomen en relación con los aspectos abordar y los enfoques que les impriman.

La formación inicial, a la que aludimos, conserva muy extendidamente fijos los límites entre las disciplinas, con escasísimas propuestas de integración entre las materias pertenecientes al campo de las Ciencias Naturales, por lo que el colectivo docente no cuenta con experiencias que les habiliten a concebir vinculaciones entre áreas. En este mismo sentido, las referencias a las ciencias sociales son prácticamente inexistentes en la formación inicial docente (Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2021a).

Es fácil suponer qué formatos tenderán a conformar las propuestas que los futuros docentes propongan a sus estudiantes, en función del peso de las biografías personales y la tradición (Alliaud, 2004).

En este sentido, consideramos que se impone intervenir para superar las limitaciones de las miradas hegemónicas de los centros de formación que fragmentan la realidad, siempre compleja, y que apela a la exposición como modo privilegiado de circulación de los saberes.

Las metodologías tradicionales, ampliamente extendidas, de corte transmisivo-informativo han arrojado pocos resultados; parece imponerse la necesidad de desarrollar instancias de aprendizaje que impacten en la cognición, pero también en las habilidades de los estudiantes para tomar decisiones adecuadas (González Jaramillo y Greca, 2022).

Una estrategia promisoriosa la constituyen las narrativas, en cuanto dispositivo para la presentación de contenidos científicos escolares complejos, aquellos para los que es necesario apoyarse en los aportes de varias disciplinas (Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2017, 2018; Faria Berçot *et al.*, 2021). En efecto, los relatos escolares incluyen aspectos biológicos, químicos, psicológicos, históricos y sociales que hacen posible una visión de conjunto de la problemática a tratar y que sintonizan con el modelo multicausal/multirreferencial ya mencionado.

En el mismo sentido, consideramos que otra alternativa potente sería apelar a la contextualización en la Enseñanza de la Química (y las ciencias naturales), que da más sentido a los contenidos que circulan en las clases de química (Pérgola y Galagovsky, 2020; Pérgola *et al.* 2023). En nuestro ejemplo, el HACRE, en cuanto problemática de salud de la región, se constituye en un contexto auspicioso para establecer relaciones entre el área de la salud, los modelos químicos y los elementos sociales vinculados.

Una comprensión más integral de la problemática del HACRE (mediada con actividades en donde los modelos químicos y el modelo complejo de salud se conjugaran al servicio de producir explicaciones) habilitaría al estudiantado a actuar responsablemente, de manera tal que impacte positivamente en su salud y en la de su comunidad.

Creemos que esta problemática es una oportunidad para promover la enseñanza de saberes químicos que posibilitan dar sentido a un hecho del mundo natural que impacta en la vida de ciertas comunidades. Ya no se trata de profundizar en reacciones químicas descalzadas del mundo; por el contrario, la propuesta es que los modelos químicos sean los que permitan comprender por qué las comunidades que no acceden a agua de calidad se enferman.

La solubilidad de las sustancias, los mecanismos de toxicidad crónica, los métodos de separación de soluciones, entre otros, que suelen abordarse como temáticas importantes per se, son ahora aquellos insumos que permiten explicar la enfermedad.

El planteamiento del HACRE, desde la perspectiva multicausal, impone expandir la mirada a las Ciencias Sociales e incluir cómo la determinación social de la salud genera asimetrías entre las poblaciones que padecen la enfermedad, en los modos en los que pueden operar para evitarla, y en los accesos a los diferentes niveles de atención de la salud.

Modelos químicos, enfermedad y condiciones sociales predisponentes son entonces los insumos clave para un abordaje multicausal/multirreferencial de la salud (Revel Chion, 2015), que persigue la apropiación de saberes que habiliten la comprensión, explicación y actuación responsables. No será entonces “transmitiendo” esta complejidad que el estudiantado adquirirá competencias científicas, sino a través de actividades en las que se proponga analizar contextos, manipular modelos susceptibles de explicar el origen de la intoxicación por arsénico, comparar modos de vida, y elaborar explicaciones que los vinculen con la incidencia de la enfermedad en diferentes comunidades; será analizando mapas en los que se superpongan zonas con presencia de arsénico y poblaciones vulnerables donde impera la pobreza, y ensayando formas de participación comprometidas con la realidad que supone la dependencia de un agua que envenena. Son estas algunas intervenciones didácticas que sintonizan los debates complejos y las finalidades de la formación científica de calidad a las que debemos aspirar alcance nuestro estudiantado.

5. Conclusiones

El HACRE constituye una epidemia que, al igual que otras enfermedades de la región, se agiganta en contextos vulnerables. Los Estados no deberían eludir la generación de políticas públicas que

garanticen el consumo de agua que no envenene lenta e inexorablemente a aquellas poblaciones que poco pueden hacer para evitarlo. Por su parte, los centros de formación docente tienen un rol que no excluye al anterior, pero que es igualmente ineludible: el de generar las condiciones para que los futuros docentes cuenten con herramientas más robustas para evitar la mera enumeración de los síntomas y la conformación atómica y molecular del arsénico. Proponemos generar instancias de reflexión en relación con las limitaciones que suponen los estreñimientos disciplinares e intentar vislumbrar la riqueza que encarnan los abordajes integrados, complejos (Revel Chion, 2015; Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2021a).

Asimismo, como ya mencionamos, es un contexto genuino y cotidiano, particularmente potente para contextualizar la Enseñanza de la Química.

Es imprescindible la participación informada, crítica y responsable del estudiantado en un mundo complejo, cambiante y crecientemente desigual, lo que no se logrará a partir de la memorización de una serie de ecuaciones químicas que involucran al arsénico y un número más o menos representativo de síntomas del HACRE.

6. Referencias

- Alarcón-Herrera, M. T., Bundschuh, J., Nath, B., Nicolli, H. B., Gutierrez, M., Reyes-Gomez V. M., Nunez, D., Martín-Dominguez, I. R. y Sracek, O. (2013) Co-occurrence of arsenic and fluoride in ground-water of semi-arid regions in Latin America: Genesis, mobility and remediation. *Journal of Hazardous Materials*, (262), 960-969. [10.1016/j.jhazmat.2012.08.005](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.08.005)
- Alliaud, A. (2004). La experiencia escolar de maestros inexpertos. Biografías, trayectorias y práctica profesional. *Revista Iberoamericana de Educación*, 34(1), 1-11.
- Alonso, D. L., Latorre, S., Castillo, E. y Brandão, P. F. B. (2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. *Environmental Pollution*. 186, 272-281. [10.1016/j.envpol.2013.12.009](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.009)

- Álvarez Méndez, J. (2000). *Didáctica, currículum y evaluación*. Miño y Dávila Editores.
- Arango, C., Porro, S. y Lampert, D. (2023). Importancia de la perspectiva de género en la enseñanza de las determinaciones sociales de la seguridad y soberanía alimentaria. De la visibilización de las condiciones de trabajo de las mujeres en las quintas bonaerenses productoras de frutas y verduras al desarrollo de materiales educativos. *Educación Química*, 34(n.º esp.), 38-54.
- Ayerza, A., (1917). Noticias Universitarias en la Academia de Medicina. Premios del Centenario. Interesante disertación del Dr. Ayerza. *La Prensa Médica Argentina*, (13), 170-171.
- Ayerza, A., (1918a). Arsenicismo regional endémico (keratodermia y melanodermia combinadas). *Boletín de la Academia Nacional de Medicina de Argentina*, 2(3), 11-24.
- Ayerza, A., (1918b). Arsenicismo regional endémico (keratodermia y melanodermia combinadas) (continuación). *Boletín de la Academia Nacional de Medicina de Argentina*, 2(3), 41-55.
- Bundschuh, J., Litter, M. I., Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, H. B., Jiin-Shuh, J., Chen-Wuing, L., López, D., Armienta, M. A., Guilherme, L. R. G., Gómez Cuevas, A., Cornejo, L., Cumbal, L. y Toujaguez, R. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. *Science of the Total Environment*, 429, 2-35. [10.1016/j.scitotenv.2011.06.024](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.024)
- Caamaño, A. (2001). Repensar el currículum de química en los inicios del siglo XXI. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (29), 43-52.
- Caamaño, A. (2006). Retos del currículum de química en la educación secundaria. La selección y contextualización de los contenidos de química en los currículos de Inglaterra, Portugal, Francia y España. *Educación Química*, 17(2), 195-208.
- Cogollo, M. E. H., y Negrete, J. L. M. (2016). Trihalometanos y arsénico en el agua de consumo en los municipios de Chinú y Corozal de Colombia: evaluación del riesgo a la salud. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 34(1), 88-115.
- Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. (2010). *Diseño curricular para la educación secundaria ciclo superior ES4: Salud y adolescencia*. (1.ª ed.). http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/secundaria/materias_comunes_a_todas_las_orientaciones_de_4año/salud_y_adolescencia_4.pdf
- Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. (2011a). *Diseño curricular para la Educación Secundaria, quinto año: Introducción a la Química*. (1.ª ed.). <https://abc.gob.ar/secretarias/sites/default/files/2021-05/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Qu%C3%ADmica.pdf>
- Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. (2011b). *Diseño curricular para la Educación Secundaria sexto año: Ambiente, desarrollo y sociedad*. (1.ª ed.). https://abc.gob.ar/secretarias/sites/default/files/2021-11/03-06-20.%20SECUNDARIA.DC26.ABC_.pdf
- Dopp, E., Kligerman, A. D. y Diaz-Bone, R. A. (2010). Organoarsenicals. Uptake, metabolism, and toxicity. En A. Sigel, H. Sigel y R. K. O. Sigel (eds), *Organometallics in environment and toxicology* (pp. 231-265). The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849730822-00231>
- Faria-Berçot, F., Revel Chion, A. y Adúriz Bravo, A. (2021). Naturaleza de la ciencia en un objeto virtual de aprendizaje para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 239-258. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3060>
- Ferreccio, C. y Sancha, A. M. (2006). Arsenic exposure and its impact on health in Chile. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 24(2), 164-175.
- García, S., (2011). *Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACER). Módulo de capacitación*. (1.ª ed.). Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones del Ministerio de Salud de la Nación.
- Giere, R. (ed.). (1992). *Cognitive models of science*. University of Minnesota Press.
- Giere, R. (2006). *Scientific perspectivism*. The University of Chicago Press.

- González Jaramillo, V. G. y Greca, I. M. (2022). Estrategias de prevención desde la escuela: implementación de una propuesta de enseñanza sobre nutrición humana basada en metodologías activas de aprendizaje. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 24(2) 161-177. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v24n2a02>
- Goyenechea, M. (1917). Sobre la nueva enfermedad descubierta en Bell Ville. *Revista Médica de Rosario*, 7, 485.
- Hughes, M. F. (2002). Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 133(1), 1-16. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00084-X)
- Hughes, M. F., Beck, B. D., Chen, Y., Lewis, A. S., y Thomas, D. J. (2011). Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicological Sciences*, 123(2), 305-332. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr184>
- Hunt, K. M., Srivastava, R. K., Elmets, C. A. y Athar, M. (2014). The mechanistic basis of arsenicosis: pathogenesis of skin cancer. *Cancer Letters*, 354(2), 211-219. [10.1016/j.canlet.2014.08.016](https://doi.org/10.1016/j.canlet.2014.08.016)
- Izquierdo Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS: Revista de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.14201/art20211017587>
- Klaassen, C. D. (ed.). (2008). *Casarett and Doull's toxicology: The basic science of poisons*. (7.ª ed.). McGraw-Hill. [10.1036/0071470514](https://doi.org/10.1036/0071470514)
- Kumagai, Y. y Sumi, D. (2007). Arsenic: Signal transduction, transcription factor, and biotransformation involved in cellular response and toxicity. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 47, 243-262.
- Lampert, D. y Cortizas, L. (2023). La geografía como metaciencia/metaconocimiento para el abordaje de temas de alimentación en la escuela secundaria y en carreras universitarias científico-tecnológicas. *Educación Química*, 34(n.º esp.), 15-27.
- Lampert, D. y Porro, S. (2020). La enseñanza de las enfermedades transmitidas por alimentos y el desarrollo del pensamiento crítico. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (48), 55-73.
- Leavell, R. H. y Clark, E. G. (1965). *Preventive medicine for the doctor in his community*. (3.ª ed.). McGraw-Hill.
- Litter, M. I. (2022). Chemistry and Occurrence of Arsenic in Water. En P. K. Srivastava, R. Singh, P. Parihar, S. M. Prasad (eds.), *Arsenic in plants: Uptake, consequences and remediation techniques* (pp. 25-48). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119791461.ch2>
- Litter, M. I., Armienta, M. A., Villanueva Estrada, R. E., Villaamil Lepori, E. C. y Olmos, V. (2020a). Arsenic in Latin America: Part I. En S. Srivastava (ed.), *Arsenic in drinking water and food* (pp. 71-112). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8587-2_4
- Litter, M. I., Armienta, M. A., Villanueva Estrada, R. E., Villaamil Lepori, E. C. y Olmos, V. (2020b). Arsenic in Latin America: Part II. En S. Srivastava (ed.), *Arsenic in drinking water and food* (pp. 113-182). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8587-2_5
- Matschullat, J., Birmann, K., Borba, R. P., Ciminelli, V., Deschamps, E. M., Figueiredo, B. R., Gabrio, T., Haßler, S., Hilscher, A., Junghänel, I., De Oliveira, N., Raßbach, K., Schmidt, H., Schwenk, M., De Oliveira Vilhena, M. J. y Weidner, U., (2007). Long-term environmental impact of arsenic-dispersion in Minas Gerais, Brazil. *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, 9, 365-382. [10.1016/S1875-1121\(06\)09014-6](https://doi.org/10.1016/S1875-1121(06)09014-6)
- Ministerio de Educación. (2012). *Núcleos de aprendizajes prioritarios. Ciclo orientado de Educación Secundaria, Ciencias Naturales*. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL005215.pdf>
- Ministerio de Educación. (2015). *Diseño curricular nueva escuela secundaria de la Ciudad de Buenos Aires: ciclo orientado del bachillerato: ciencias naturales*. <http://bde-ueicee.bue.edu.ar/documentos/204/download>
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2004). *Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-81033_archivo_pdf.pdf
- Osuna-Martínez, C. C., Armienta, M. A., Bergés-Tiznado, M. E. y Páez-Osuna, F. (2021). Arsenic

- in waters, soils, sediments, and biota from Mexico: An environmental review. *Science of The Total Environment*, 752, 142062. [10.1016/j.scitotenv.2020.142062](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142062)
- Pérgola, M. y Galagovsky, L. (2014). Puesta a prueba de una unidad didáctica dentro del enfoque de química en contexto. *Revista de Educación en la Química*, 20(2), 143-155.
- Pérgola, M. y Galagovsky, L. (2020). Enseñanza en contexto: la importancia de revelar obstáculos implícitos en docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(2). <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2822>
- Pérgola, M. y Revel Chion, A. (2023). Perspectivas multicausales para abordar la problemática del HACRE en Latinoamérica. En *10º Congresso Internacional em Saúde: Empreendedorismo e Inovação*. 16 a 19 de mayo. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- Pérgola, M., Sacco, N., Bonetto, M., Galagovsky, L. y Cortón, E. (2023). A laboratory experiment for science courses: Sedimentary microbial fuel cells. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 51(2), 221-229. <https://doi.org/10.1002/bmb.21702>
- Ravenscroft, P., Brammer, H. y Richards, K. (2011). *Arsenic pollution: a global synthesis*. John Wiley & Sons.
- Revel Chion, A. (2015). *Educación para la salud. Enfoques integrados entre salud humana y ambiente. Propuestas para el aula*. Paidós.
- Revel Chion, A. y Adúriz-Bravo, A. (2014). ¿Qué historias contar sobre la emergencia de enfermedades? El valor de la narrativa en la enseñanza de las ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (36). <https://doi.org/10.17227/01213814.36ted47.59>
- Revel Chion, A., y Adúriz-Bravo, A. (2017). Relatos para la enseñanza de una problemática americana: la enfermedad de Chagas-Mazza. *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa*, (45). <https://revistas.uam.es/tarbiya/article/view/9509>
- Revel Chion, A., y Adúriz-Bravo, A. (2018). Pensamiento narrativo y argumentación en la enseñanza de las ciencias. *Revista Tecné Episteme y Didaxis: TED*, (n.º extra., Memorias), 22-26.
- Revel Chion, A. y Adúriz-Bravo, A. (2021a). In sickness and in health: Narratives on epidemics as tools for science teaching in secondary schools. *Science and Education*, (31), 269-291. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00258-3>
- Revel Chion Giavino, A. y Adúriz-Bravo, A. (2021b). Narrativas para abordar temáticas de salud y enfermedad con profesores de ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (n.º extra.), 465-469.
- Revel Chion, A., Rosalez, P., Zalazar, T., Cafure, J., Generoso, R. y Scalice, M. (2021). Concepciones sobre la salud y la enfermedad del colectivo docente de biología de la región Latinoamericana. En *Segundo Simposio Internacional sobre Enseñanza de las Ciencias* (pp. 212-220). Universidad de Córdoba.
- Rosalez, P. (2020). La persistencia del biologicismo en tiempos de pandemia. En *Memorias de las Jornadas Nacionales y Congreso Internacional en Enseñanza de la Biología* (p. 84). Asociación de Docentes de Ciencias Biológicas de La Argentina (ADBIA).
- Sarret, G., Guedron, S., Acha, D., Bureau, S., Arnaud-Godet, F., Tisserand, D., Goni-Urriza, M., Gassie, C., Duwig, C., Proux, O. y Aucour, A. M. (2019). Extreme arsenic bioaccumulation factor variability in Lake Titicaca, Bolivia. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12. [10.1038/s41598-019-47183-8](https://doi.org/10.1038/s41598-019-47183-8)
- Secretaria de Educação Básica. (2018) *Base Nacional Comum Curricular*. http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf
- Secretaria de Educação Fundamental (1997a). *Parâmetros Curriculares Nacionais 1ª a 4ª Séries. Ciências Naturais*. <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro04.pdf>
- Secretaria de Educação Fundamental. (1997b). *Parâmetros Curriculares Nacionais 5ª a 8ª Séries. Ciências Naturais*. <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>
- Secretaria de Educação Fundamental (2000). *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio*. <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>

