



## Química en Contexto: intoxicación crónica por arsénico (HACRE) como problemática educativa socioambiental

*Chemistry in Context: Chronic arsenic poisoning (HACRE) as a socio-environmental educative problem*

Martín Pégola<sup>1</sup> y Natalia Sabatini<sup>1</sup>

### Resumen

Presentamos una propuesta didáctica que combina la contextualización y la modelización química, aplicada a la problemática del hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), un grave problema de salud pública en Argentina. Sin embargo, este no es el único país donde se presentan intoxicaciones crónicas por consumo de agua con arsénico: Bangladesh, partes de la India, Chile, China, México, Taiwán, Tailandia y los Estados Unidos, son algunas de las regiones con mayor riesgo. La propuesta fue diseñada y se implementó en una escuela bachillerato popular para jóvenes y adultos, priorizando la adaptación de los modelos químicos y el uso de narrativas para promover el aprendizaje. Se evaluó su impacto didáctico, motivacional y de aprendizaje. Los resultados muestran que el enfoque contextualizado logró motivar a los estudiantes al conectar los contenidos de química con problemáticas ambientales relevantes en su entorno, permitiendo a la docente modificar su propia práctica profesional educativa, alejándose de la enseñanza tradicional de la química.

**Palabras clave:** Bioquímica; Educación Secundaria; Contextualización; Modelización; Problemáticas sociocientíficas; Salud.

### Abstract

We present a didactic proposal that combines contextualization and chemical modeling, applied to the problem of chronic regional endemic hydroarsenicism (HACRE), a serious public health problem in Argentina. However, this is not the only country where chronic arsenic poisoning occurs: Bangladesh, parts of India, Chile, China, Mexico, Taiwan, Thailand, and the United States are some of the regions at greatest risk. The proposal was designed and implemented in a popular high school for young people and adults, prioritizing the adaptation of chemical models and the use of narratives to promote learning. Its didactic, motivational and learning impact was evaluated. The results show that the contextualized approach managed to motivate students by connecting chemistry content with relevant environmental problems in their environment, and the teacher modified her own professional educational practice, moving away from traditional chemistry teaching.

**Keywords :** Biochemistry; Secondary Education; Contextualization; Modeling; Socio-environmental issues, health.

### CÓMO CITAR:

Pégola, M. S. y Sabatini, N. (2026, enero-marzo). Química en Contexto: intoxicación crónica por arsénico (HACRE) como problemática educativa socioambiental. *Educación Química*, 37(1). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2026.1.91545>

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires. Argentina, Argentina.



## Introducción

Las problemáticas del acceso y consumo de agua tienen un impacto global en la salud pública, agravadas por factores como el cambio climático y el crecimiento poblacional. Entre las sustancias químicas presentes en las capas freáticas que suponen riesgo para la salud, el arsénico (As) ocupa un lugar destacado (Litter, 2022; Pégola y Revel Chion, 2024). Su consumo crónico puede derivar en hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE).

Partimos de la hipótesis de que una enseñanza contextualizada de la química favorece aprendizajes más sustentables, al vincular los contenidos científicos con problemáticas relevantes para el estudiantado. Además, consideramos que el uso de narrativas y modelos científicos escolares adaptados a contextos específicos, incrementa la motivación, facilita la apropiación de conceptos químicos y promueve la transferencia de aprendizajes a nuevas situaciones.

En este artículo presentamos un estudio sobre la implementación de una Unidad Didáctica (UD) que incorpora problemáticas reales en la enseñanza de la química. Analizamos su impacto en la motivación de los estudiantes y en las prácticas docentes, aportando evidencias sobre cómo un enfoque contextualizado puede transformar la enseñanza tradicional mediante la articulación entre modelización química y desafíos socioambientales actuales.

Dada la magnitud del HACRE y su frecuente desconocimiento por parte de la población, consideramos fundamental abordarlo desde la educación científica, en especial a través de la enseñanza contextualizada de la química (Pégola y Revel Chion, 2024). El objetivo central de este trabajo fue indagar en los vínculos entre la enseñanza de la química y la salud.

## Contexto conceptual

Los síntomas clínicos del HACRE suelen manifestarse entre cinco y diez años después del consumo de agua contaminada con As. Estudios recientes revelaron su presencia en el agua, superando la concentración máxima indicada por la OMS de 10 ppb (10  $\mu\text{g/L}$  o 0,01  $\text{mg/L}$ ) de al menos trece países de América Latina (Litter, 2022). Esta concentración máxima es la que se establece en la normativa del Código Alimentario Argentino para el agua de red.

Por su relevancia socioambiental y de salud pública, el HACRE constituye un escenario idóneo para la enseñanza contextualizada de la química. Permite articular la modelización química con un problema de la vida real, y al mismo tiempo, ofrece oportunidades de trabajo en contextos rurales o alejados de las áreas urbanas, donde el acceso al agua de red es limitado (Abril Milán, Meza Opazo, y Araya-Crisóstomo, 2025).

El mecanismo de toxicidad del As no está completamente dilucidado. Sin embargo, los modelos bioquímicos desarrollados para explicarlo presentan un nivel de complejidad excesivo para la educación secundaria. Por ello, abordar el HACRE en las aulas requiere adaptar dichos modelos al contexto educativo y a las características de los estudiantes. Se trata de construir modelos más “económicos” que, sin perder rigor científico, sean comprensibles y útiles para explicar el comportamiento del As y sus efectos en la salud humana (Pégola y Revel Chion, 2024).

El desafío principal consistió en lograr que los estudiantes comprendieran el comportamiento químico del As para aplicar en el contexto del HACRE, facilitando su transferencia a otros escenarios. En línea con el enfoque de enseñanza de las ciencias naturales en contexto y el enfoque CTS (de Souza Mól y Freitas Fernandes, 2024; Merino et al., 2024), se busca superar la tradicionalidad mediante propuestas que vinculen el aprendizaje de conceptos químicos con intereses y experiencias cotidianas de los estudiantes (Pégola y Galagovksy, 2014; 2020).

Como recurso didáctico estratégico se emplearon narrativas, debido a su potencial para acercar la problemática del de agua con As en un formato asequible para los alumnos. Destacamos las características de las narrativas que las constituyen en un recurso con potencial didáctico pues:

- Exponen eventos de manera secuencial, generando interés por parte del lector u oyente del relato, por descubrir el desarrollo y desenlace de la historia, favoreciendo la comprensión y la retención de información (Adúriz-Bravo y Revel Chion, 2016; Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2022).
- Permiten integrar de forma natural la complejidad de los contextos, incorporando elementos históricos, sociales, culturales, éticos y morales, habitualmente ausentes en los textos tradicionales (Hadzigeorgiou y Schulz, 2019).
- Promueven la multirreferencialidad, incorporando saberes de distintas disciplinas que difícilmente podrían incluirse de otro modo (Revel Chion, 2015; Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2022).

Por estas razones, pueden actuar como un puente entre el contexto y los modelos científicos, facilitando la apropiación gradual de conceptos abstractos -como solubilidad y toxicidad del As- necesarios para interpretar y operar sobre la realidad.

En nuestra propuesta asumimos una relación inherente entre modelos y contextos, en la que los escenarios sociales y ambientales ocupan un lugar central. Adoptamos la concepción de modelos del realismo constructivo (Giere, 1992), que los define como entidades abstractas imaginativas que se comportan según la teoría a través de sus enunciados, similares al mundo real. Así, los modelos actúan como mediadores y pueden compararse con los mapas físicos, que son representaciones simplificadas pero efectivas de la realidad (Giere, 2006; Izquierdo Aymerich y Adúriz-Bravo, 2021).

En cuanto al concepto de contexto, asumimos que su función es presentar las circunstancias y escenarios que dotan de significado a los conceptos científicos, ofreciendo una estructura lógica y coherente que permita integrar nuevos elementos dentro de un marco más amplio (Gilbert, 2006).

Vinculando esta noción con el modelo cognitivo de ciencia escolar (Izquierdo Aymerich, et al. 1999a; Izquierdo Aymerich et al., 1999b), entendemos que los contextos proporcionan los escenarios donde ocurren los fenómenos, mientras que los modelos constituyen sus representaciones. En consecuencia, la contextualización y la modelización deberían integrarse de manera natural en la enseñanza de las ciencias (Pégola y Adúriz-Bravo, 2026).

En este estudio exploramos cómo los modelos científicos, como representaciones simplificadas de los fenómenos naturales, pueden emplearse para comprender el contexto de socioambiental y sanitario del HACRE.

## Metodología

Este estudio se enmarca en el paradigma interpretativo cualitativo, orientado a comprender fenómenos educativos en contextos específicos. Se diseñó una unidad didáctica (UD) de diez clases, que se presenta resumida en la Figura 1, sobre el acceso al agua de consumo y su contaminación, utilizando el caso del HACRE como contexto sociocientífico (Anexo 1). La propuesta se implementó siguiendo un diseño flexible (Mendizábal, 2006), basado en estudio de caso y en la teoría fundamentada, lo que permitió generar teoría de manera inductiva y establecer relaciones emergentes (Charmaz, 2014).

### Macrosecuencia de unidad didáctica sobre HACRE

#### Actividades de clase y elementos de modelos abordados (clases de 80 minutos)

Presentación de la problemática que se trabajará.  
Presentación y lectura de la narrativa como actividad inicial de exploración.  
Registro colectivo de las principales ideas de los alumnos.  
Ejemplos de mezclas cotidianas. Sistemas materiales con agua como componente.  
Presencia de contaminantes en el agua; identificación de contaminantes que pueden distinguirse macroscópicamente o instrumentos ópticos y aquellos que no.

Recuperación de la narrativa presentada para explicar por qué no es posible visualizar macroscópicamente ni con instrumentos ópticos la contaminación del As en el agua de Bangladesh.

Tratamiento de sistemas materiales: identificación de componentes de una mezcla. Métodos de separación. Potabilización del agua. Presentación del caso de Ciudad de Buenos Aires. Recuperación de la narrativa para abordar los métodos de potabilización del agua que permitirían el abatimiento del arsénico.

Actividad de situación problemática para introducir la noción de concentración de sustancias.

Continuación de la actividad problemática de la clase previa. Formas de presentar la concentración de sustancias según si están en "alta" o "baja" concentración. Análisis de las concentraciones permitidas por el código alimentario argentino. El As como sustancia que se encuentra en muy baja concentración (menor 100 ppb).

Continuación del trabajo con concentraciones. Recuperación de la narrativa para reflexionar acerca de la cantidad de As que puede presentar el agua y por qué no puede ser percibida por los sentidos. Prácticas diluyen el soluto en una solución, cuáles no modifican su concentración y cuáles lo concentran (calentar el agua con As aumenta la concentración del mismo, entonces no sirve para potabilizar).

Evocación y recopilación de todas las ideas químicas para armar el modelo de ciencia escolar de solubilidad. Síntesis y sistematización. Presentación del caso del HACRE en Bell Ville (Córdoba, Argentina) como actividad de aplicación.

Continuación de la actividad de caso presentado en la clase anterior. Se presenta a los estudiantes la actividad de escritura epistémica que consiste en la escritura de una carta "ideal" para explicar a las autoridades la problemática del HACRE y solicitar una posible solución a la misma. Actividad de aplicación.

Cierre de la unidad didáctica. Actividad metacognitiva acerca de lo que aprendieron durante la unidad didáctica.

#### Elementos de modelos abordados

- 1 No se abordaron modelos específicos de química.
- 2 Mezclas homogéneas y heterogéneas. Soluciones acuosas. Toxicidad crónica.
- 3 Modelo de partículas para explicar mezclas y soluciones.
- 4 Separación de componentes de sistemas materiales.
- 5 Concentración de sustancias en soluciones acuosas
- 6 Concentración de sustancias en soluciones acuosas
- 7 Concentración de sustancias en soluciones acuosas. Separación de sistemas materiales.
- 8 Concentración de sustancias en soluciones acuosas
- 9 Modelo de soluciones y solubilidad.
- 10

FIGURA 1. Resumen de la unidad didáctica de 10 clases sobre HACRE.

Se optó por este paradigma porque permitió abordar el fenómeno educativo de forma holística, evitando la fragmentación de los registros. El objetivo fue comprender en profundidad el significado de las prácticas y hechos educativos, más que cuantificarlos.

### ***Marco de implementación***

La UD se implementó en un Bachillerato popular de jóvenes y adultos en el sur de la Ciudad de Buenos Aires, en la asignatura Química del último año. Estas instituciones, surgidas en Argentina alrededor del 2004 en el Área Metropolitana de Buenos Aires, se distinguen por un enfoque de educación que prioriza la permanencia de los estudiantes y la vinculación de los saberes escolares con la vida cotidiana (Aguiló y Wahren, 2014; Sverdlick y Costas, 2008).

El grupo participante estuvo conformado por seis alumnos mayores de 18 años que habían interrumpido su escolaridad tradicional hacía más de cinco años, con conocimientos básicos en ciencias y no contaban con formación previa en química.

### ***Recursos didácticos***

Dada la complejidad química y multirreferencial del HACRE (Pégola y Revel Chion, 2024), se introdujo la problemática mediante una narrativa extraída y adaptada del libro *Educación para la salud* (Revel Chion, 2015) (Anexo 2). El libro presenta una visión contextualizada de los fenómenos de salud y enfermedad, enmarcada en el modelo complejo de salud. Destaca referencias a distintas disciplinas, utilizando narrativas adaptadas a diferentes niveles del sistema educativo.

La docente modificó la narrativa reduciendo tecnicismos y añadió intervenciones orales planificadas que hacían referencia a situaciones locales, con el fin de facilitar la identificación de los estudiantes con la problemática

### ***Instrumentos de recolección de datos y validación***

Se utilizaron tres fuentes principales:

- 1) **Bitácora docente:** registro escrito elaborado por la docente con apreciaciones sobre la implementación y observaciones de aula.
- 2) **Producciones estudiantiles:** trabajos escritos, testimonios y una encuesta final abierta sobre motivación.
- 3) **Entrevistas semiestructuradas a la docente:** realizadas en tres momentos -antes, durante y después de la implementación- para registrar expectativas, percepciones y ajustes.

Aunque se recurrió a diversas fuentes de información, las entrevistas con la docente constituyeron el insumo principal para el análisis, dado que permitieron acceder a su mirada sobre diseño, ajustes y significados de la secuencia. Las otras fuentes complementaron y enriquecieron la triangulación de datos.

Las preguntas de las entrevistas se diseñaron para indagar la implementación de la secuencia, motivación, la comprensión conceptual química y la percepción de la relevancia social del tema. Todas las entrevistas fueron grabadas y transcritas para garantizar un análisis detallado.

La validez de los instrumentos se garantizó mediante revisión por parte de dos investigadoras con trayectoria en investigación cualitativa en didáctica de las ciencias naturales, quienes evaluaron la pertinencia y claridad de las preguntas, así como su adecuación al marco escolar. La validación permitió ajustar la redacción de algunos ítems.

### Procedimiento de análisis

La metodología adoptada permitió analizar el proceso educativo desde una mirada multirreferencial, atendiendo tanto a la perspectiva docente como a la de los estudiantes, en coherencia con el enfoque interpretativo cualitativo del estudio. Los datos fueron analizados mediante el proceso de codificación en tres fases: codificación abierta (identificación inicial de conceptos), codificación axial (agrupamiento de códigos en torno a relaciones y ejes temáticos) y codificación selectiva (integración de las categorías más relevantes).

Este proceso fue realizado por el investigador principal y discutido con otra investigadora para garantizar consistencia. El objetivo fue identificar categorías emergentes, que permitieran interpretar cómo las decisiones de diseño contribuyeron al desarrollo de ideas químicas relevantes en un contexto significativo para los estudiantes (Charmaz, 2014; Mendizábal, 2006). Este enfoque permitió construir conceptualizaciones didácticas relacionadas con actividades de contextualización y modelización.

La triangulación de fuentes permitió contrastar distintas perspectivas: las producciones estudiantiles se examinaron para identificar sus opiniones sobre motivación y aprendizaje, la bitácora aportó detalles sobre el desarrollo de las actividades, y las entrevistas sumaron la perspectiva de la docente. Este proceso garantizó la confiabilidad del análisis. Surgieron cinco categorías emergentes que se presentan en la siguiente sección.

### Resultados

El análisis de datos permitió identificar cinco categorías emergentes: (i) influencia del entorno de implementación, (ii) planificación y diseño de secuencias contextualizadas, (iii) las narrativas como recursos didácticos para contextualizar, (iv) los modelos de química y su enseñanza, y (v) opiniones de los estudiantes. La Tabla 1 sintetiza estas categorías con ejemplos de evidencias empíricas. Los extractos se presentan con el código D para los testimonios de la docente y A para los de los alumnos, sin distinguir de cuál de los seis alumnos se trata.

Categoría	Fuente principal	Descripción	Ejemplo de evidencia
Influencia del entorno de implementación	Entrevista docente y bitácora.	Condiciones institucionales que facilitaron la contextualización.	<i>"Tuve libertad para armar la materia porque no había nada que rigiera y los diseños de las secundarias para adultos son bastante amplios y abiertos."</i> (D)
Planificación y diseño de secuencias didácticas contextualizadas	Entrevista docente y producciones estudiantiles.	Diseño de actividades vinculadas a problemáticas reales	<i>"Aprendimos sobre lo que puede tener el agua potable que es una información que nos sirve para nuestra vida diaria."</i> (A).

**TABLA 1.** Categorías emergentes con su descripción y ejemplos de testimonios



Narrativas como recurso didáctico	Entrevista docente, bitácora y encuesta a estudiantes.	Uso del relato de Salma como puente cognitivo y afectivo.	<i>"Siempre evocaba la narrativa, y los estudiantes recordaban la historia."</i> (D)
Modelos de química y su enseñanza	Entrevista docente y producciones estudiantiles.	Adaptación de modelos escolares para explicar fenómenos complejos.	<i>"Algunas sustancias pueden estar en el agua, aunque no las veamos."</i> (D)
Opiniones de los estudiantes	Encuesta y testimonios.	Valoraciones sobre motivación, aprendizaje y relevancia social.	<i>"Me pareció interesante aprender sobre el agua y sus componentes."</i> (A)

### **La influencia del entorno de implementación**

El contexto del bachillerato popular facilitó el enfoque contextualizado gracias a la flexibilidad curricular y el respaldo institucional: *"Tuve libertad para armar la materia porque no había nada que rigiera y los diseños de las secundarias para adultos son bastante amplios y abiertos"* (D). La ausencia de presiones externas por cumplir con un programa rígido permitió incorporar al HACRE como eje articulador: *"La directora y el secretario me plantearon que armara lo que pensara que podría ser útil para el bachillerato popular. (...) En la forma de planificar no hubo ninguna restricción que me impusieran"* (D).

Esta libertad para diseñar problemas genuinos contrastó con experiencias previas donde las propuestas terminaban en actividades de *"copiar y pegar información"* (D) desconectadas de la vida de los estudiantes: *"Se había planteado la química como algo innovador con problemas que parecían ligados a la vida de los estudiantes, pero luego era la misma química tradicional con falsos problemas"* (D).

La elección del tema del agua potenció la motivación estudiantil con problemáticas ambientales locales, por la cercanía del Bachillerato al Riachuelo (río de Buenos Aires con altos índices de contaminación): *"El As no es común, pero si existe preocupación por el cromo, plomo en agua y en sangre."* (D). En sintonía, los alumnos expresaron: *"Aprendimos sobre lo que puede tener el agua potable que es una información que nos sirve para nuestra vida diaria"* (A).

Este hallazgo coincide con investigaciones previas realizadas por el investigador principal, en marcos escolares distintos (escuelas de zonas de clase media-alta) sobre como la elección de problemáticas sociocientíficas, el acompañamiento institucional y la flexibilidad curricular permite ensayar propuestas innovadoras en ciencias (Aikenhead, 2006; Pégola y Galagovsky, 2020).

### **Planificación y diseño de secuencias didácticas contextualizadas**

El diseño partió de un problema ambiental y social para, luego, seleccionar los contenidos químicos pertinentes: *"Primero pensé en la problemática como disparador y luego cuál sería la química necesaria para abordarla"* (D).

La narrativa funcionó como eje transversal y permitió vincular lo aprendido en química con situaciones reales: *“Se fue recorriendo durante toda la unidad. Lo que íbamos viendo de química tratábamos de utilizarlo para explicar cosas de la misma”* (D). Los estudiantes valoraron esta conexión: *“Lo que vimos en clase nos sirve para pensar en lo que ocurre en nuestro barrio”* (A); *“Nos sirvió para aprender lo que pasa con el agua en nuestra zona”* (A).

La docente enfatizó el interés que generó vincular los conceptos científicos con la realidad cotidiana de los estudiantes: *“La recepción fue muy buena. Pudieron aplicar algo de lo que aprendieron en química y que no quedara solo en la clase, sino poder transferirlo a situaciones en otros ámbitos”* (D).

Las respuestas de los alumnos en la encuesta final mostraron una valoración positiva de la secuencia didáctica e interés generado por abordar problemáticas ambientales con relevancia social y científica (ver opiniones de los estudiantes en Tabla 3).

Aunque el caso narrativo transcurría en Bangladesh, los estudiantes lo resignificaron al vincularlo con su propia realidad junto al Riachuelo. Esto ilustra el potencial de las secuencias contextualizadas para promover aprendizajes transferibles (Sadler, 2004).

### **La narrativa como recurso didáctico para contextualizar**

La narrativa permitió contextualizar el problema y generar empatía con la protagonista de esta. Según la docente: *“pensar que podrían estar ellos en la misma situación de Salma les permitió reconocerse en el problema”* (D).

Este recurso funcionó como un puente cognitivo entre saberes de los estudiantes, elementos de los modelos científicos escolares, y aspectos sociales ligados al consumo de agua.

El uso del relato facilitó la comprensión de conceptos científicos, resultando un recurso flexible, que pudo ser adaptado por la docente para incluir ideas químicas específicas que buscaba enseñar como concentraciones: *“Agregué algunas cosas para que surgieran ideas de química que no estaban en la narrativa original, como por ejemplo las concentraciones mínimas de As en agua”* (D).

Los estudiantes lo retomaron en sus producciones escolares: *“sabemos que esta enfermedad se nota a los diez años de su consumo, porque el agua no da indicios, ya que el arsénico no puede verse a simple vista y forma una solución con el agua”* (A); mencionando aspectos relacionados con lo sociocientífico, como por ejemplo que *“Las personas tienen derecho a poder consumir agua con los minerales necesarios en cantidades adecuadas para que sea potable y que no tenga consecuencias en su salud”* (A).

Además, la narrativa facilitó la continuidad conceptual en un marco escolar donde las inasistencias son comunes: *“Siempre evocaba la narrativa y, por lo general, siempre recordaban la historia de Salma”* (D).

Estos resultados coinciden con la literatura sobre narrativas en didáctica, que resalta su potencial para favorecer la retención de información y conectar lo cognitivo con lo afectivo, lo que las destaca como recurso didáctico (Norris et al., 2005; Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2022).



## Los modelos de química y su enseñanza

La propuesta implicó una transposición didáctica innovadora, que priorizó la comprensión de fenómenos por sobre el rigor académico: *“Primero pensé en la problemática y a partir de la misma pensé los modelos asociados, que pudieran ser abordados por los alumnos del Bachillerato”* (D).

Se requirió una adaptación de los modelos científicos eruditos para generar sus versiones escolares, que integraban ideas químicas clave de forma accesible para los estudiantes (Tabla 2): *“pensé en algunas ideas químicas centrales, (y) adaptar el modelo químico erudito (que no enseñaría). Enseñaría un modelo escolar que tomaría ideas químicas principales adaptadas al tipo de población y en la profundidad con la que quería trabajar para lograr explicar el problema”* (D).

Ideas clave de modelos químicos eruditos	Adaptación según el modelo de ciencia escolar
Solubilidad de sustancias	Algunas sustancias forman soluciones donde no se distinguen a simple vista (ej. sal común). El As se comporta de forma similar.
Estructura submicroscópica de las soluciones.	Las sustancias que se solubilizan en agua forman un sistema donde no se pueden distinguir una de otra. Las partículas de la sustancia se intercalan entre las moléculas de agua, aunque no se vean.
Concentración	Las sustancias pueden disolverse en distintas proporciones; cantidades muy pequeñas no son detectables por los sentidos. Aunque el agua parezca pura, no necesariamente lo será. Por eso es muy complejo decidir si el agua de consumo no tiene sustancias tóxicas.
Toxicidad crónica	Algunas sustancias pueden tener un efecto tóxico “rápido” (agudo), mientras que otras pueden tener un efecto “lento”, luego de ser consumidas durante mucho tiempo (crónico). El HACRE implica consumo prolongado de agua con arsénico.

**TABLA 2.** Adaptación escolar contextualizada de los modelos de química del diseño curricular.

Este recorte permitió trabajar con modelos simples pero funcionales: *“No hablamos de cationes y aniones, solo dijimos que el As era soluble porque sus partículas podían acomodarse entre las moléculas de agua”* (D). Esto permitió promover generalizaciones: *“concluimos que hay sustancias como las sales (la sal común) que se comportan así y se solubilizan en agua, y el arsénico forma sales parecidas”* (D).

Los alumnos valoraron positivamente esta aproximación: *“La materia estuvo muy didáctica, informativa y sobre todo aprender cosas de química para aplicar en situaciones cotidianas fue lo mejor”* (A).

El proceso implicó un desafío profesional, al alejarse de la enseñanza tradicional: *“costó trabajo armar el recorte saliendo de lo tradicional: supuso abandonar conscientemente con las ideas con las que yo me formé y hacer algo distinto mucho más genuino y significativo que de la forma tradicional, que termina siendo memorística”* (D).

En línea con investigaciones sobre modelización escolar, este caso muestra que simplificar no implica trivializar, sino construir modelos potentes para explicar fenómenos complejos (Adúriz- Bravo e Izquierdo, 2002).

### Opiniones de los estudiantes

Las encuestas finales reflejaron valoraciones positivas sobre la propuesta, destacando la pertinencia de los temas y la posibilidad de aplicar los aprendizajes a la vida cotidiana. En la Tabla 3 se presentan algunos ejemplos de opiniones de los alumnos, organizadas en torno a las categorías emergentes. Las opiniones fueron seleccionadas como representativas, y aunque no todos los alumnos mencionaron explícitamente la narrativa, sí la reconocieron indirectamente en su forma de recordar y aplicar los contenidos.

Categoría	Opiniones de estudiantes (ejemplos)
<b>Entorno de implementación</b>	<p><i>"Me gustó que habláramos de problemas de nuestra zona."</i></p> <p><i>"Me gustaron mucho las clases. Lamenté mis inasistencias."</i></p> <p><i>"La materia y su enfoque estuvo muy didáctico e informativo, y sobre todo aprender cosas cotidianas que fue lo mejor."</i></p>
<b>Secuencias contextualizadas</b>	<p><i>"Me pareció interesante aprender sobre el agua y sus componentes. Las clases estuvieron muy buenas y todo me pareció interesante."</i></p> <p><i>"Lo de la sal en agua y los estados de la materia se lo conté a mis hijos y se engancharon rapidísimo."</i></p>
<b>Narrativa como recurso</b>	No hubo opiniones explícitas sobre la narrativa.
<b>Modelos de química</b>	<p><i>"Aprendí lo de las propiedades del agua, como así también la presencia de arsénico que es un químico que no tenía idea que existía, y su separación."</i></p> <p><i>"No solamente me resultó interesante, sino que me pareció súper útil ya que no sabía cuál era el origen de la contaminación de agua por arsénico y mucho menos el procedimiento."</i></p> <p><i>"Los conceptos químicos de la sal en agua me resultaron muy útiles."</i></p> <p><i>"El agua potable no es agua pura sino que contiene ciertos minerales en una cierta concentración."</i></p>

**TABLA 3.** Opiniones de los alumnos en relación con las categorías emergentes.

Las opiniones de los alumnos confirmaron la relevancia del diseño didáctico, las ventajas de contextualizar la enseñanza de los modelos químicos, al evidenciar una motivación vinculada a la comprensión de conceptos químicos como a la reflexión sobre problemáticas socioambientales.

### Reflexiones finales

La propuesta contextualizada resultó desafiante y motivadora tanto para estudiantes como para la docente. En los estudiantes, generó interés al trabajar con modelos químicos relevantes para analizar el contexto y problemáticas vinculadas con el consumo de agua en sus comunidades. De modo, contribuyó a uno de los objetivos fundamentales de la educación científica actual: formar ciudadanos críticos capaces de comprender y actuar frente a situaciones socioambientales con sustento en modelos científicos (Sadler, 2004).

Un hallazgo relevante fue que la docente priorizó ideas químicas clave por sobre la cobertura de contenidos curriculares. Esta decisión didáctica, en sintonía con planteos sobre la modelización científica escolar (Izquierdo Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Cortés-Morales y Marzábal, 2025), permitió construir explicaciones potentes sin focalizar en contenidos prescriptos por el currículum pero sin anclaje en el contexto.

Asimismo, la flexibilidad institucional del bachillerato popular facilitó esta propuesta innovadora, lo que refuerza lo planteado por distintos autores sobre la importancia del marco escolar e n propuestas de enseñanza transformadoras (Aguiló y Wahren, 2014).

El uso de narrativas demostró ser un recurso eficaz para contextualizar la ciencia, generando un puente cognitivo con los saberes de los alumnos, así como una conexión por sus preocupaciones ambientales. En línea con trabajos recientes (Adúriz-Bravo y Revel Chion, 2016; Revel Chion y Adúriz-Bravo, 2022) la narrativa permitió integrar conocimientos de ciencias naturales y sociales en un formato accesible, facilitando la comprensión de modelos escolares como los de solubilidad o toxicidad crónica (como se presentó en la sección 4.3 según las producciones de los alumnos).

Además, los alumnos valoraron la pertinencia de los aprendizajes en química logrados en esta unidad para explicar problemas de su vida cotidiana (sección 4.4). Estas opiniones contrastan con el desinterés que suele generar una enseñanza memorística descontextualizada, lo que refuerza el potencial de propuestas como la implementada que pretende revertir la desconexión que suele haber entre los contenidos prescriptos en el currículum y la realidad de los alumnos.

En conclusión, los resultados de este estudio de caso sugieren que la articulación entre contextualización y modelización constituyen una perspectiva eficaz para generar aprendizajes que promuevan una intervención en el mundo sustentada en saberes científicos. La experiencia desarrollada muestra que, incluso en marcos escolares históricamente marginados del sistema escolar como son los bachilleratos populares para adultos, es posible diseñar propuestas consistentes de enseñanza de la química que fortalezcan una formación ciudadana crítica.

### **Agradecimientos**

El presente artículo es parte de una investigación financiada por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires mediante el proyecto UBACyT 20020220400317BA.

### **Anexos**

- Anexo 1: macrosecuencia de UD sobre HACRE (<https://doi.org/10.5281/zenodo.15127731>).
- Anexo 2: narrativa sobre Consumo de agua con arsénico y HACRE en Bangladesh en la década de 1970 (<https://doi.org/10.5281/zenodo.15149395>).

## Referencias

- Abril Milán, D., Meza Opazo, D. y Araya-Crisóstomo, S. (2025). Química en contexto: Una revisión de literatura sobre cuestiones socio científicas en zonas rurales. *Educación Química*, 36(2). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.2.89147>
- Adúriz-Bravo, A. y Revel Chion, A. (2016). El pensamiento narrativo en la enseñanza de las ciencias, *Inter-Ação*, 41(3), 691–704. <https://doi.org/10.5216/ia.v41i3.41940>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Un marco teórico para la didáctica de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 443–457.
- Aguiló, V. y Wahren, J. (2014). Los bachilleratos populares de Argentina como “campos de experimentación social”. *Argumentos*, 27(74), 97-114.
- Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Teachers College Press.
- Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory*. Sage.
- Cortés-Morales, A., y Marzabal, A. (2025). The design of science teaching and learning tasks with modelling potential. *Studies in Science Education*, 1–29. <https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2493990>
- De Souza Mól, G. y Freitas Fernandes, R. (2024, septiembre). Educação química na perspectiva CTS inclusiva. *Educación Química*, 35 (Número especial). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.89407e>
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27–43.
- 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. DOI: 10.14201/art20211017587
- Izquierdo Aymerich, M., Sanmartí Puig, N. y Espinet Blanch, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), 45-59.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M.P., Pujol, R. y Sanmarti, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las ciencias*. N. extra. 79-92.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Giere, R. (2006). *Scientific perspectivism*. The University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of “context” in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957–976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Hadzigeorgiou, Y., y Schulz, R. M. (2019). Engaging students in science: The potential role of “narrative thinking” and “romantic understanding. *Frontiers in Education*, 4, 38. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00038>

- Jackson, P. (2005). Sobre el lugar de la narrativa en la enseñanza. En McEwan, H. y Egan, K. (eds.) *La narrativa en la enseñanza, el aprendizaje y la investigación*. Amorrortu.
- Litter, M.I. (2022) Chemistry and Occurrence of Arsenic in Water. En Kumar, P., Singh, R., Parihar, P. y Prasad, S.M., (Eds.); *Arsenic in Plants: Uptake, Consequences and Remediation Techniques*, (pp. 25–48), Wiley Online Library.
- Mendizábal, N. (2006). Los componentes del diseño flexible en la investigación cualitativa. En I. Vasilachis (Coord.), *Estrategias de investigación cualitativa* (pp. 65-105). Gedisa.
- Merino, C., Solis, J., Pacheco, G., Iturbe-Sarunić, C., Manrique, F., Rivera, M. y Jara, R. (2024, septiembre). El enfoque CTS en la educación científica chilena: un análisis del texto escolar de la asignatura de ciencias para la ciudadanía. *Educación Química*, 35(Número especial). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.88871e>
- Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S. y Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science education*, 89(4), 535-563.
- Pégola, 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.
- Pégola, M. y Galagovsky, L. (2020). Enseñanza en contexto: la importancia de revelar obstáculos implícitos en docentes. *Enseñanza de Las Ciencias*, 38(2), 45–64. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias>.
- 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>
- Pégola, M. S., y Adúriz-Bravo, A. (2026). Modelización en contexto en la enseñanza de la química en secundaria. Enseñanza De Las Ciencias. *Revista De investigación Y Experiencias didácticas*, (En prensa). <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6458>
- 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. (2022). In *Sickness and in Health: Narratives on Epidemics as Tools for Science Teaching in Secondary Schools*. *Science & Education*, 31(2), 269-291. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00258-3>
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sverdlick, I. y Costas, P. (2008). Bachilleratos populares en empresas recuperadas y organizaciones sociales. *Ensayos & Investigaciones del Laboratorio de Políticas Públicas-Buenos Aires*, (30)

## Anexos

### Anexo 1: Adaptación de la narrativa sobre el HACRE en Bangladesh

#### *La problemática del consumo de agua con arsénico*

Bangladesh es un país ubicado al sur de Asia, rodeado casi por completo por la India, a excepción de una pequeña franja al sureste, donde limita con Birmania. Se sitúa en una zona de terreno fértil, correspondiente al delta del famoso río Ganges, por lo que está sujeto a las inundaciones anuales. Gran parte de su territorio está ocupado por selvas densas; es la tierra del imponente tigre de Bengala y, probablemente debido a la enorme superficie cubierta de agua de su territorio, la flor nacional es el nenúfar.

Es uno de los países más poblados del mundo y, junto con Haití, se considera también uno de los más pobres, que soporta problemas de salud pública históricos. En la década de los setenta, se registraban enormes cifras de mortalidad –se estima que morían un cuarto de millón de niños por año– a causa de enfermedades diarreicas provocadas por el consumo de agua superficial contaminada con microorganismos patógenos. Esta cifra alarmante condujo a Unicef y al Banco Mundial a destinar fondos para la construcción de perforaciones con el objetivo de dotar a la población de fuentes subterráneas de agua potable, pero, definitivamente, algo salió mal. Si bien se le encargó a una empresa inglesa la realización del análisis del agua para certificar su potabilidad existían, por aquel entonces, algunos elementos que no eran contemplados por no ser muy habituales: el arsénico, entre otros. En los primeros años de la década de los ochenta, comenzaron a registrarse centenares de afectados por daños en la piel, extrañas manchas, sudoraciones excesivas en manos y pies y diferentes formas de cáncer.

Salma B. tenía todos esos síntomas y también la piel de los pies cubierta de manchas negras y grietas que a veces se infectaban, produciendo una sensación permanente de quemadura. Imaginó que tenía cáncer. Algunos familiares y vecinos comenzaron a evitarla pensando que tenía una enfermedad contagiosa, mientras que otros afectados y afectadas, fueron discriminados incluso para contraer matrimonio.

No se necesitó mucho tiempo para que los médicos identificaran que los síntomas de Salma se debían a la exposición crónica al arsénico proveniente de las nuevas perforaciones, uno de los elementos que la compañía inglesa decidió no analizar. Salma y el resto de la población confiaron en la palabra y los análisis de la compañía, nunca hubieran imaginado que en el agua limpia y cristalina que obtuvieron de las nuevas perforaciones podía haber algo que les hiciera tanto daño. El padecimiento de Salma y el de sus vecinos fue rápidamente considerado una catástrofe, la intoxicación masiva más grande que se haya dado a nivel mundial y, comparativamente, más grave que el desastre radiactivo de Chernóbil. Salma se ha recuperado pero los médicos le han advertido que el cáncer que creyó tener podría efectivamente desarrollarse en algunos años en su piel, hígado, pulmones o riñones debido al tiempo que estuvo expuesta al consumo de agua con arsénico.

El gobierno de Bangladesh decidió analizar los niveles de arsénico del agua y obtuvieron valores entre 10 y 100 veces más altos que los permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Entonces, se decidió tratar el agua para consumo y realizar perforaciones de mayor profundidad que garantizaran la provisión de agua sin arsénico,



pero el porcentaje de población afectada es tan alto y la zona afectada tan extensa, que la situación sigue siendo sumamente dramática. Salma y algunos otros afectados decidieron entablar acciones legales contra la empresa inglesa responsable del tratamiento del agua para exigir las indemnizaciones correspondientes por los daños sufridos. Sin embargo, la Corte de Apelaciones rechazó el pedido argumentando que la relación existente entre los afectados y la empresa era tan lejana que no se esperaba que esta tuviera la obligación de cuidar la salud de la población.

## Anexo 2: Macrosecuencia de la unidad didáctica implementada sobre el HACRE

Macrosecuencia de unidad didáctica sobre HACRE		
Clase	Actividades de clase (cada clase tiene 80 minutos)	Modelos abordados
1	<p>Presentación del tema que se trabajará.</p> <p>Presentación y lectura de la narrativa como actividad inicial de exploración.</p> <p>Registro colectivo de las principales ideas de los alumnos que surgieron a partir de la narrativa.</p>	No se abordaron modelos específicos de química.
2	<p>Presentación de ejemplos de distintos tipos de mezclas cotidianas.</p> <p>Sistemas materiales con el agua como componente.</p> <p>Actividades de iniciación sobre:</p> <p>presencia de contaminantes en el agua;</p> <p>identificación de contaminantes que pueden distinguirse macroscópicamente o con instrumentos ópticos y de contaminantes que no pueden distinguirse macroscópicamente o con instrumentos ópticos.</p>	<p>Mezclas homogéneas y heterogéneas.</p> <p>Soluciones acuosas.</p> <p>Toxicidad crónica.</p>
3	<p>Recuperación de la historia de la narrativa presentada en la primera clase para explicar por qué no es posible visualizar macroscópicamente ni con instrumentos ópticos la contaminación del arsénico en el agua de Bangladesh.</p>	Modelo de partículas para explicar mezclas y soluciones
4	<p>Actividad de exploración de tratamiento de sistemas materiales: identificación de componentes de una mezcla, posibles métodos de separación de estos.</p> <p>Proceso de potabilización del agua.</p> <p>Presentación del caso de tratamiento en la Ciudad de Buenos Aires por la empresa de potabilización del agua.</p> <p>Recuperación de la historia de la narrativa para pensar y explicar los métodos que aplica la empresa de potabilización del agua que permitirían el abatimiento del arsénico.</p>	Separación de componentes de sistemas materiales.

5	Actividad de situación problemática para introducir la noción de concentración de sustancias.	Concentración de sustancias en soluciones acuosas.
6	Continuación de la actividad problemática de la clase previa. Formas de presentar la concentración de sustancias según si están en “alta” o “baja” concentración.  Análisis de las concentraciones permitidas por el código alimentario argentino para distintas sustancias. Las particularidades del arsénico como una sustancia que se encuentra en muy baja concentración (menor 100 ppb).	Concentración de sustancias en soluciones acuosas.
7	Continuación del trabajo con concentraciones.  Recuperación de la historia de la narrativa para reflexionar acerca de la cantidad de arsénico que podía presentarse el agua y si podía ser percibida con alguno de los sentidos, por quien la bebiera.  Reflexión acerca de qué prácticas diluyen el soluto en una solución, cuáles no modifican su concentración y cuáles lo concentran (por ejemplo, calentar el agua con arsénico aumenta la concentración de este por lo cual no sirve para potabilizarla).	Separación de componentes de sistemas materiales.  Concentración de sustancias en soluciones acuosas.
8	Evocación y recopilación de todas las ideas químicas trabajadas hasta el momento para armar el modelo de ciencia escolar de solubilidad. Síntesis y sistematización.  Presentación del caso del HACRE en Bell Ville (Córdoba, Argentina) como actividad de aplicación.	Modelo de soluciones y solubilidad.
9	Continuación de la actividad de caso presentado en la clase anterior.  Se presenta la actividad de escritura epistémica que consiste en la escritura de una carta “ideal” para explicar a las autoridades la problemática del HACRE y solicitar una posible solución a la misma. Actividad de aplicación.	Modelo de soluciones y solubilidad.
10	Cierre de la unidad didáctica. Actividad metacognitiva acerca de lo que aprendieron durante la unidad didáctica.	