

Educación CTS y sustentabilidad: el problema del agua contaminada con arsénico

STS Education and sustainability: the problem of water contaminated with arsenic

Educação CTS e sustentabilidade: o problema da água contaminada com arsênico

Silvia Porro

Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (GIECIEN), Departamento de Ciencia y Tecnología,
Universidad Nacional de Quilmes. ARGENTINA.
sporro@unq.edu.ar

Damian Alberto Lampert

Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (GIECIEN), Departamento de Ciencia y Tecnología,
Universidad Nacional de Quilmes.
CONICET/ARGENTINA
damian.lampert@unq.edu.ar

Resumen

Este trabajo se enfoca en resaltar la importancia que tiene la educación CTS para la formación del estudiantado como ciudadanía responsable y comprometida en la sustentabilidad de su entorno. Se muestran los resultados obtenidos en la aplicación en Argentina del proyecto The Relevance of Science Education-Second (ROSES) con respecto al interés del estudiantado por la sustentabilidad. ROSES es un proyecto internacional de investigación comparada orientado a investigar factores de importancia, interés y motivación para la enseñanza y el aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología en la escuela secundaria a partir de la voz directa del estudiantado. La población objetivo son estudiantes de educación secundaria, mayores a 15 años de edad. Con respecto a la Educación Ambiental, el cuestionario incluye un apartado donde se exploran los puntos de vista del estudiantado en relación con los desafíos ambientales. Todo el estudiantado considera que los problemas ambientales son un asunto que les interesa y asumen el rol de influir personalmente en lo que le suceda al medio ambiente. Uno de los ítems de mayor interés y preocupación es el desarrollo de tecnologías de bajo costo para poder remover el contaminante. Como ejemplo se presenta una problemática ambiental importante como lo es el arsénico en agua. El consumo de agua contaminada con arsénico es actualmente un problema de salud a nivel mundial que afecta a más de 200 millones de personas, siendo Argentina uno de los países afectados. Se presentan tecnologías sociales para la remoción de Arsénico en agua y su implicancia educativa.

Palabras Clave: Educación CTS; Sustentabilidad; Intereses estudiantado; Problemas ambientales; Arsénico en agua.

Abstract

This work focuses on highlighting the importance of STS education for the training of students as responsible and committed citizens in the sustainability of its environment. The results obtained in the application of the project The Relevance of Science Education-Second (ROSES) regarding student interest in sustainability in Argentina are shown. ROSES is an international comparative research project aimed at research factors of importance, interest and motivation for teaching and learning of Science and Technology in secondary school from the direct voice of the students. The target population is secondary education students, over 15 years of age. With respect to Environmental Education, the questionnaire includes a section where the points of view of the students in relation to environmental challenges are explored. All students consider that environmental problems are an issue that interests them and they take on the role of personally influencing what happens to the environment. One of the items of greatest interest and concern is the development of low-cost technologies to remove the contaminant. As an example, an important environmental problem such as arsenic in water is presented. The consumption of water contaminated with arsenic is currently a global health problem, affecting more than 200 million people, Argentina is one of the affected countries. Social technologies for the removal of Arsenic in water and its educational implication are presented.

Keywords: CTS Education; Sustainability; Student interests; Environmental problems; Arsenic in water.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo discutir a importância da educação CTS para a formação dos alunos como cidadãos responsáveis e comprometidos com a sustentabilidade do seu meio ambiente. Os resultados obtidos na aplicação na Argentina do projeto The Relevance of Science Education-Second (ROSES) são mostrados no que diz respeito ao interesse dos alunos pela sustentabilidade. ROSES é um projecto internacional de investigação comparativa que visa investigar factores de importância, interesse e motivação para o ensino e aprendizagem de Ciências e Tecnologia no ensino secundário a partir da voz directa dos estudantes. A população alvo são estudantes do ensino secundário, com idade superior a 15 anos. No que se refere a Educação Ambiental, o questionário apresenta uma seção onde são explorados os pontos de vista dos alunos em relação aos desafios ambientais. Todos os alunos consideram que os problemas ambientais são assuntos do seu interesse e assumem o papel de influenciar pessoalmente o que acontece com o meio ambiente. Um dos itens de maior interesse e preocupação é o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para remoção do contaminante. Como exemplo, é apresentado um importante problema ambiental como o arsênico na água. O consumo de água contaminada com arsênico é atualmente um problema de saúde global, afetando mais de 200 milhões de pessoas, sendo a Argentina um dos países afetados. São mencionadas tecnologias sociais para a remoção de Arsênico na Água e suas implicações educacionais.

Palavras-chave: Educação CTS; Sustentabilidade; Interesses dos alunos; Problemas ambientais; arsênico na água.

Introducción

Uno de los objetivos de la educación CTS es la formación de una ciudadanía crítica y responsable, cuya importancia se detalla en el siguiente párrafo (Porro, 2022):

Resalto la importancia de formar profesionales y ciudadanía en general capaces de tomar decisiones que impliquen un pensamiento crítico basado en sus conocimientos científico-tecnológicos. Además, expreso la necesidad de abandonar la enseñanza tradicional que se basa en el mero aprendizaje de conceptos aportados por el docente y los libros de texto, en un estudiantado pasivo y en evaluaciones con preguntas de respuestas cerradas. Para lograr el cambio creo indispensable modificar la formación docente inicial y continua, que debe implicar formación interdisciplinar, conocimiento de la Naturaleza de la Ciencia e incorporación de Tecnologías de la Información y la Comunicación. Considero que tanto la Química como las demás Ciencias Naturales deben enseñarse basándose en enfoques en contexto, llámense CTS, CTSA, STEM, STEAM, uso de cuestiones sociocientíficas, etc. Lo importante es que el estudiantado participe activamente de su aprendizaje, cosa que se logrará solo si en el aula se presentan temas significativos para su vida cotidiana: su entorno familiar o social, el mundo que los rodea, algo que les interese o conmueva (Porro, 2022).

En las últimas décadas, los avances científicos y tecnológicos han sido espectaculares, en tanto que han transformado nuestro estilo de vida y la sociedad, en general (Guerrero-Márquez y García-Carmona, 2020). Pero, no todo este desarrollo ha tenido efectos beneficiosos para el ambiente, y debemos lograr que nuestro estudiantado comprenda qué importante es lograr la sustentabilidad de nuestras formas de vida. Es fundamental incluir temas sociales y culturales en la enseñanza de la educación ambiental para la sustentabilidad (Florez-Yepes, 2015).

Los problemas ambientales

Los problemas ambientales son aquellos derivados de los complejos procesos sociales y políticos, en la transformación y adaptación de la naturaleza que realiza la sociedad (Vallejos, Botana y Pohl Schnake, 2009). Por tal motivo, se reconocen como problemas ambientales la contaminación, el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, entre otros; siempre considerando la presencia de la sociedad sobre los elementos del ambiente: clima, bioma, relieve e hidrografía. Por otro lado, los desastres naturales se asocian a fenómenos físicos de gran intensidad que afectan a un grupo social alterando su vida cotidiana (Bachman y Acerbi, 2003). Entre esos fenómenos, se encuentran aquellos de origen climatológico, geológico e hidrológico propios de la Tierra. De acuerdo a las situaciones ambientales de hoy en día donde las sociedades han modificado los elementos del ambiente, esta categoría resulta inconclusa. Por un lado, hay desastres naturales que tienen su origen por fenómenos físicos, pero que se han intensificado por los efectos de la sociedad (Lampert et al., 2022). Por ello, como se dificulta la separación entre los conceptos, tanto

los problemas ambientales como los procesos naturales, pueden ser concebidos como “desastres”. La definición tradicional de desastres engloba a eventos abrumadores limitados por el tiempo y el espacio (Knowles, 2020). Los problemas ambientales pueden aparecer de forma inesperada, así como lentamente. Por tal motivo, se habla de desastres rápidos y lentos. Los primeros son aquellos que pueden aparecer de forma espontánea, mientras que los desastres lentos, caracterizan a los procesos a largo plazo vinculados a través del tiempo (Knowles, 2020). Los desastres naturales son generalmente los “rápidos” mientras que los problemas ambientales, pueden ser desastres lentos o rápidos (Lampert et al., 2022, p. 53). Los estudios CTS incorporaron la categorización de los desastres en sus temas de investigación a partir del avance del conocimiento en la previsión, la asistencia y la reparación de los impactos negativos de estos fenómenos (Estébanez, 2014).

En septiembre del 2015 los Jefes de Estado y de Gobierno firmaron la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El Objetivo 6 establece “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Es indiscutible, entonces, la importancia para la población de tener acceso a agua segura. En Argentina, el 84 % de la población tiene agua corriente en sus hogares, según los datos del Censo 2022 publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC, 2022), pero en nuestro país existen varias causas de contaminación del agua; entre ellas, el tema que hemos seleccionado para trabajar en las aulas es la presencia del arsénico en agua y sus efectos, ya que la problemática del arsénico (As) es un tema multidisciplinario que comprende aspectos de su distribución geográfica y geológica, impactos sobre la salud y cuestiones sociales para su resolución (Litter, 2018).

La problemática de la presencia de Arsénico en el agua

En individuos, el contacto con el arsénico puede ocurrir a partir de la inhalación de polvos arsenicales, a través de la piel y/o por la ingesta de alimentos o agua contaminados, siendo esta última la vía más habitual de ingreso al organismo (Ramírez, 2013). En el caso del agua, el As es un contaminante que se presenta a nivel mundial en toda la hidrósfera, puede estar a nivel subterráneo o superficial. En las aguas superficiales, predomina el estado de oxidación (V) debido a las condiciones oxidantes, mientras que en el agua subterránea predomina el estado de oxidación (III) debido a la menor presencia de oxígeno. La presencia de As en agua tiene su origen principalmente geológico. El origen del As presente en aire es mayoritariamente antropogénico (70%). En relación a su origen natural, el As en la atmósfera proviene de los polvos en suspensión derivados del suelo o de las emisiones volcánicas. Es importante señalar que las emisiones volcánicas también pueden contaminar el agua, ya que la presencia de As en Argentina se debe a la existencia de fragmentos volcánicos presentes en los sedimentos loessicos subterráneos (Pasquini y Lecomte, 2018). En relación al origen antropogénico del As en el aire, las actividades que pueden generar este contaminante son los incendios forestales, la fundición de metales, la combustión de carbón, aceite y madera, e incineración de residuos urbanos (ATSDR, 2007).

La contaminación del agua por arsénico es uno de los casos de contaminación ambiental de origen natural que existe a nivel mundial (Lampert, 2022a). La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que la presencia de arsénico en agua es una amenaza para la salud, ya que la misma se utiliza para beber, cultivar y elaborar alimentos. Teniendo en cuenta los efectos tóxicos del As sobre los seres humanos y otros organismos, la OMS ha recomendado un límite de 10 µg/L de As en agua para consumo humano (WHO, 2004). La presencia de As en agua genera una Enfermedad Transmitida por Alimentos (ETA) conocida como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). Esta problemática, que también suele considerarse como desastre lento debido a sus efectos a corto y largo plazo, impulsó a muchas instituciones a ocuparse del tema. La Red de Seguridad Alimentaria del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina) y la Red de Estudios Ambientales Bonaerenses (REAB) han presentado informes específicos sobre la problemática del arsénico en agua (Lampert, 2022). El consumo de agua contaminada con arsénico es actualmente un problema de salud a nivel mundial, que afecta a más de 200 millones de personas, siendo Argentina uno de los países afectados (RSA, 2018).

El interés del estudiantado por la sustentabilidad

Hay que tener en cuenta que no todo lo que se enseña en las aulas tiene real significado para el estudiantado, por eso es necesario conocer los intereses del mismo. Para intentarlo, hemos desarrollado una investigación inserta en un equipo internacional que desarrolla el proyecto ROSES. The Relevance of Science Education-Second (ROSES) es un proyecto internacional de investigación comparada orientado a investigar los factores de importancia, interés y motivación para la enseñanza y el aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología (CyT) en la escuela secundaria a partir de la voz directa del estudiantado. En ROSES participa una amplia gama de países de todos los continentes con especial énfasis en los países iberoamericanos. La población objetivo son los estudiantes al final de su educación secundaria (mayores a 15 años de edad). Esto se debe a que pueden mirar hacia atrás en su educación y reflexionar sobre lo que han aprendido, y no han aprendido, sobre CyT durante su paso por la escuela secundaria.

En relación a la Educación Ambiental, el cuestionario del ROSES presenta un apartado denominado “Yo y los desafíos ambientales” donde se exploran los puntos de vista del estudiantado en relación con los desafíos ambientales. Esto es fundamental para poder conocer las actitudes y sentimientos en relación a los diferentes desafíos y problemas ambientales. En palabras de Manassero- Mas y Vázquez Alonso (2023):

Las actitudes ambientales proactivas se centran en evitar las consecuencias perjudiciales que la displicencia ambiental puede tener para uno mismo y para otros seres humanos (antropocentrismo) o para la biosfera (ecocentrismo), aunque diversos autores destacan el carácter holístico de las diferentes dimensiones de las actitudes ambientales y otros aún añaden algunas más, tales como indiferencia ambiental y la afinidad emocional (Manassser- Mas y Vázquez Alonso, 2023, p-372).

En una investigación realizada por nosotros en la localidad de Tandil (Provincia de Buenos Aires, Argentina), se ha evaluado el interés sobre los desafíos ambientales, en general, y la problemática de arsénico en agua, en particular, y se ha demostrado el interés, la preocupación y la participación en la temática del estudiantado (Lampert y Porro, 2023). Los Ítems del Proyecto Roses relacionados a los desafíos ambientales por los que se ha consultado al estudiantado son:

- Las amenazas al ambiente no son asunto mío
- Los problemas ambientales hacen que el futuro del mundo se vea sombrío y desesperanzado
- La ciencia y la tecnología pueden resolver todos los problemas ambientales
- Estoy dispuesto/a a que se resuelvan los problemas ambientales, incluso si esto significa prescindir de muchas cosas
- Puedo influir personalmente en lo que suceda al medio ambiente
- Todavía podemos encontrar soluciones a nuestros problemas ambientales
- La gente se preocupa demasiado por los problemas ambientales
- Los problemas ambientales pueden resolverse sin grandes cambios en nuestra forma de vivir
- Las personas deben preocuparse más por proteger el ambiente
- Resolver los problemas ambientales del mundo es responsabilidad de los países ricos
- Los problemas ambientales deben dejarse a los expertos
- Me siento optimista respecto al futuro
- Casi todas las actividades humanas perjudican al ambiente

Y los siguientes son Ítems agregados a la investigación por nosotros sobre la problemática de arsénico en agua:

- El arsénico en agua es una problemática ambiental.
- El arsénico en agua afecta a la zona en la que vivo.
- El Estado se ocupa acerca de la situación de arsénico en agua.
- Se necesita un mayor abordaje de la temática de arsénico en agua en la escuela para tomar conciencia sobre el tema.
- La problemática del arsénico en agua limita el cumplimiento de los Derechos Humanos.

La totalidad del estudiantado considera que los problemas ambientales son asunto que les compete y asumen el rol de influir personalmente en lo que suceda al medio ambiente. Por otro lado, el estudiantado presenta una visión optimista, ya que considera que todavía se pueden encontrar soluciones a los problemas ambientales, y resaltan que todas las personas deben ocuparse de los mismos y no solamente los países ricos y las personas expertas (Lampert y Porro, 2023). Por otro lado, a partir del análisis cualitativo de las entrevistas al estudiantado, se pudo apreciar que uno de los ítems de mayor interés y preocupación es el desarrollo de tecnologías de bajo costo para poder remover el contaminante. Sobre todo, varios estudiantes argumenta-

ron que, dadas las condiciones económicas de Argentina, no se puede acceder a tecnologías sofisticadas o industriales para los hogares y es necesaria una solución de índole social. El otro aspecto mencionado fue la educación y la divulgación: gran parte del estudiantado argumentó su rol activo en concientizar a las personas sobre como operar en los hogares frente a la presencia del contaminante. A continuación, nos enfocamos en la problemática ambiental que presentamos en las aulas y que despertó el interés de estudiantado.

Tecnologías sociales para la remoción de Arsénico en Agua y su implicancia educativa

La crisis hídrica mundial es una crisis de gobernanza mucho más que de recursos disponibles, pues el mundo no se está «quedando sin agua», pero no siempre está disponible donde y cuando se necesita (de la Torre, 2017). Se calcula que entre el 97 y el 97,5 % del agua de la Tierra es agua salada, que está en los océanos, y menos del 3 % del agua en el mundo es agua dulce. De este 3 %, dos tercios se encuentran congelados y bloqueados en los glaciares o como nieve permanente en las regiones montañosas y en las regiones antártica y ártica. Por lo tanto, la humanidad depende de menos del 0,5 % del agua para todas sus necesidades y las de los ecosistemas de agua dulce (UNESCO, 2003). Pero, no solo es necesaria una fuente de agua dulce, sino una fuente de agua dulce segura. Por lo tanto, la disponibilidad del agua no depende solo de la cantidad sino también de la calidad.

Existe consenso en la comunidad internacional en relación a que el agua y el saneamiento son derechos humanos esenciales. Sin embargo, la realidad actual es preocupante, en tanto que, en las Américas, se han documentado índices elevados de enfermedades, junto con la incorporación de proyectos de extracción minera en ecosistemas de reserva protegida, que transforman el hábitat e inciden negativamente en los recursos hídricos (Palacios Valencia, 2020). Aproximadamente 884 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más de 2.600 millones de personas no tienen acceso a saneamiento básico y cada año fallecen aproximadamente 1,5 millones de niños menores de cinco años y se pierden cuatrocientos cuarenta y tres millones de días lectivos a consecuencia de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento” (ONU, 2010, p. 2). Asimismo, en una última actualización a julio de 2023, el Banco Mundial informó que aproximadamente 2000 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable, 3600 millones no cuentan con servicios de saneamiento seguros y 2300 millones no cuentan con acceso a instalaciones básicas para lavarse las manos¹.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible compromete a los estados miembros de la ONU a tomar medidas audaces y transformadoras para “cambiar al mundo hacia un camino sostenible y resiliente”, “realizar los derechos humanos de todos”, “acabar con la pobreza en todas

¹ Información obtenida de la sección “Panorama general” del Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#:~:text=Alrededor%20de%202000%20millones%20de,b%C3%A1sicas%20para%20lavarse%20las%20manos>. Asimismo, en dicha página se encuentran a disposición diferentes infografías que pueden ser de utilidad didáctica.

sus formas” y garantizar que “nadie se quede atrás” (ONU, 2015). Con respecto al agua potable, en 2017 solo 17 países tenían estimaciones de servicios gestionados de forma segura, lo cual representaba el 38% de la población mundial (WHO, 2019).

En Argentina, los servicios de agua y saneamiento utilizan diferentes tecnologías, como ósmosis inversa, ultrafiltración, nanofiltración, radiación y ozonización, para remover los contaminantes presentes en el agua. En cuanto a la aplicación doméstica, cabe destacar que en la actualidad todavía existen regiones donde el acceso al agua de calidad adecuada es escaso. En el año 2015 se aprueba el Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento, donde se destaca la necesidad de implementar un programa de apoyo para el mejoramiento de los servicios de las áreas rurales. Si bien este programa no fue implementado, abarcaba a un universo de 2.500 centros rurales (inferiores a los 2000 habitantes) que según el documento contaban con una cobertura de agua promedio del 85% y en general carecían de cloacas (Cellone y col., 2023). La información más actualizada publicada por el Ministerio de Obras Públicas estima, al año 2019, un déficit de cobertura de agua potable o segura del 7.1% y de un 38.8% de acceso al saneamiento para zonas rurales agrupadas (Ministerio de Obras Públicas, 2021). El gráfico 1 permite conocer el porcentaje de la población con acceso a agua potable en Argentina. Como se puede observar, menos del 50% cuenta con acceso a agua segura (*safely managed*). El resto, presenta agua que podría no ser segura e incluso con contaminantes microbiológicos (*open defecation*). Lo cual muestra que aún (año 2022) en Argentina existen personas que no pueden garantizar la inocuidad del agua de sus hogares.

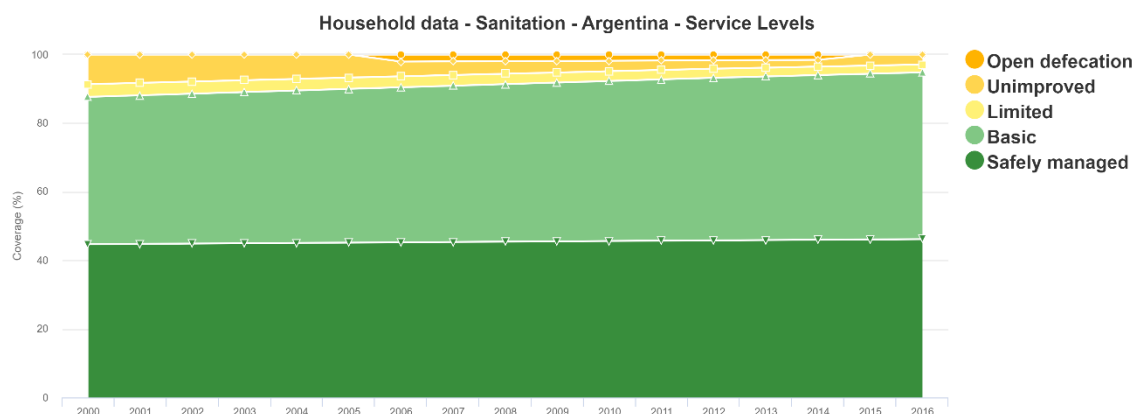


Gráfico 1: Porcentaje de población en Argentina según saneamiento de agua de los hogares Fuente.
[https://washdata.org/data/household#/> ²](https://washdata.org/data/household#/)

² El Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, Saneamiento e Higiene (JMP) ha informado estimaciones nacionales, regionales y globales de los avances en materia de agua potable, saneamiento e higiene (WASH) desde 1990. Los gráficos se obtienen de una página dinámica donde se debe indicar el país o la región de análisis.

Por otro lado, el gráfico 2 permite observar las asimetrías territoriales que existen en relación a la calidad de agua en zonas urbanas y rurales, un tema del que la Geografía de la Salud se ocupa desde hace muy poco tiempo, pero cuyas herramientas hemos adquirido para el desarrollo de propuestas educativas CTS (Lampert, 2022b). Como puede apreciarse en las barras de agua de consumo (*drinking water*), desde el 2015 hasta el 2022 la población aumentó el consumo de agua básica, pero disminuyó aquella que podría ser inocua. En relación al saneamiento, en las zonas urbanas la situación sigue crítica con menos del 50% de la población con acceso a agua segura. Si se compara la situación urbana y rural del año 2015, se puede observar una asimetría que pone en un lugar de vulnerabilidad ambiental y de la salud a la población rural, ya que la misma no cuenta con agua potable.

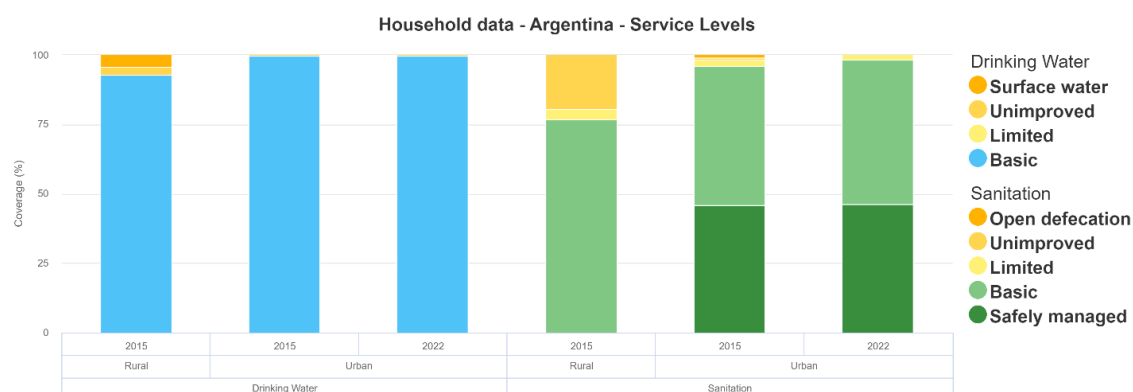


Gráfico 2: Nivel de servicios de agua en los hogares urbanos y rurales en Argentina Fuente. <https://washdata.org/data/household#!/>

Las tecnologías sustentables, también conocidas como tecnologías sostenibles o eco amigables, tienen sus orígenes en las últimas dos décadas, surgiendo las mismas como consecuencia de los cambios ambientales a nivel global y regional que disminuyen la calidad de vida de la población (Condolucci, 2021). Las mismas forman parte de las llamadas tecnologías para la inclusión social (TIS). Las TIS, se definen como formas de diseñar, desarrollar, implementar y gestionar tecnologías orientadas a resolver problemas sociales y ambientales (Thomas, 2020). Estas TIS se destinan a igualar derechos, dignificar las condiciones de existencia humana, generar nuevos espacios de justicia social, mejorar la calidad de vida y distribuir equitativamente la riqueza (Thomas, 2020). Con respecto al arsénico en agua, existen diferentes TIS desarrolladas, de acuerdo su categorización de funcionamiento:

- Sistemas fisicoquímicos de filtración: utilizan tubos de PVC, baldes de plástico o cajas acrílicas como estructuras para contener *los materiales filtrantes* (Batista y col., 2016).

- Tecnologías solares: emplean luz solar o artificial conjuntamente con hierro para lograr la oxidación del As y posteriormente su remoción mediante algún sistema filtrante (Litter y col., 2010).
- Sistemas biológicos: estos se subdividen en fitorremediación, biorremediación animal y biorremediación por medio de microorganismos (Iliná y col., 2009; Mejía Sandoval, 2006). En este apartado se incluyen también los humedales, naturales o artificiales, que emplean plantas con capacidad de rizofiltración para retener en sus raíces las sustancias contaminantes, entre ellas los metales (Bundschuh y Litter, 2010; Corroto y col., 2012; Valles-Aragón y Alarcón-Herrera, 2014).

Las TIS deben estar acompañadas de estrategias y formas de implementación y gestión para que puedan ser utilizadas. En una entrevista, Hernán Thomas se refiere a tecnologías asociadas al agua:

“(...) repartir bombas de agua en zonas de sequía coyuntural no resuelve el problema del acceso al recurso. De hecho, ¿la gente qué hace? O la deja tirada por ahí o las vende. Después siempre aparece un liberal que te dice «¡Ah, viste que no saben cómo usar el dinero público!». Y cuando te pones a ver cuál fue el problema, no fue de implementación o del sistema de logística, fue un problema conceptual y estratégico. De ahí el problema de cómo formar a los estrategas y tecnólogos para que hagan tecnología para la inclusión social que funcione” (Ferreyra y Thomas, 2022, p. 14).

En esta línea, siguiendo lo establecido por Ferreyra y Thomas (2022) y de acuerdo a las conclusiones del trabajo final de ingeniería en alimentos de Micaela Condolucci (Condolucci, 2021), para formar estrategias para el uso de TIS es necesaria la educación. Es muy importante elaborar material didáctico que ayude al profesorado a enseñar interdisciplinariamente en las aulas. Hace unos años, desarrollamos una unidad didáctica para ser aplicada en el último año de una escuela secundaria con orientación Ciencias Naturales, en el marco de un proyecto de extensión universitaria. La unidad pretendió trabajar una temática de interés para el estudiantado, desde el enfoque CTS, e incorporar aspectos de Física, Química, Biología, Derecho y Geografía. El principal objetivo fue desarrollar competencias de pensamiento crítico. El procedimiento incluyó: la lectura e interpretación de análisis fisicoquímicos de agua; el análisis geográfico de procedencia de la muestra y las técnicas de laboratorio para obtener los resultados y la lectura de este en función del marco legal nacional. La unidad fue valorada mediante una encuesta. Los estudiantes se mostraron motivados y con interés por trabajar otras propuestas CTS en el futuro (Lampert y col., 2021).

Secuencias didácticas

Para producir material didáctico, además de tener en cuenta el interés del estudiantado, obtenido de los resultados del proyecto ROSES, es importante medir y ajustar el nivel de dificultad de los contenidos para mantener la motivación y el interés de los estudiantes. Goldin (2022)

destaca que, si algo es demasiado fácil, se pierde el interés y si es demasiado difícil, se pierde la motivación. Por lo tanto, es fundamental encontrar un equilibrio y adaptar la progresividad de los contenidos a las necesidades del estudiantado. Teniendo en cuenta lo anterior, hemos desarrollado dos secuencias didácticas, de las cuales haremos aquí una breve presentación. En ambas secuencias se propone tratar la problemática de contaminación de agua con arsénico en Argentina, debido a qué se observó que la población desconoce los riesgos asociados al consumo de agua contaminada con dicho metaloide. La primera secuencia se trata de una práctica experimental que se puede encontrar en forma detallada en Condolucci, Porro y Lampert (2020). Consiste en la elaboración de un simulador de agua de pozo y la determinación de la contaminación de éste. El objetivo es entender el funcionamiento del pozo de agua, comprobar la contaminación del agua subterránea, determinar los agentes contaminantes y sus posibles fuentes de contaminación. Implica la selección de filtros según la granulometría del componente a extraer. Se debe confeccionar un sistema de filtración para extraer los compuestos de interés y reconocer la importancia de las características del compuesto a separar de una solución sólido-líquido, para seleccionar a partir de ello la tecnología adecuada para su remoción. Esta práctica se encuentra orientada al estudiantado de la secundaria básica: de 12 a 15 años de edad.

La segunda secuencia surgió de una experiencia de articulación entre la Universidad y el territorio a partir de la problemática del arsénico en agua. Entendiendo la importancia de lo que genera la contaminación de agua con As, desde el Proyecto de Extensión Universitario “Laboratorios Educativos de Agroalimentos y Zoonosis” de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ), se propuso desarrollar una TIS de remoción de As, para que a partir de diversas prácticas institucionales y comunitarias se pudiese llevar a cabo una transferencia tecnológica (Condolucci, Porro y Lampert, 2021). De este modo, además de transmitir los conocimientos científicos, se pudo contribuir con la prevención de la problemática a nivel social. La tecnología con principio de remoción fisicoquímico que se desarrolló emplea la gravedad como fuerza impulsora del proceso. El filtro diseñado cuenta con seis etapas de filtración que fueron establecidas conforme al tipo de contaminante a remover; dentro de los medios adsorbentes utilizados, se pueden mencionar tornillos autoperforantes, gravas, arena y carbón activado; todos seleccionados en base a su granulometría, tipo de lecho filtrante generado, bajo costo y fácil adquisición. La facilidad de la construcción, el uso de materiales reciclados y la vinculación que genera con una problemática de actualidad, podría sugerir que este desarrollo sea una propuesta innovadora en las escuelas. La metodología se basó en el diseño y desarrollo de un filtro sustentable; se utilizó como punto de partida una tecnología similar a la desarrollada por Santa Cruz y col. (2020). Antes de utilizar el filtro, debe medirse la concentración de As en la muestra de agua de pozo a tratar. El agua obtenida tras el proceso de filtración, se somete a un ensayo colorimétrico para determinar el rango de concentración de arsénico. La determinación de la vida útil del filtro se realiza a partir de la medición de las cantidades de As presente en la muestra, considerando para ello que la tecnología alcanza su fin cuando la concentración del contaminante se mantiene constante, dado que la falta de eliminación del mismo indica una saturación de los medios filtrantes y por ende, la necesidad de reacondicionamiento. El filtro diseñado resultó ser adecuado para los fines establecidos, dado que el agua tratada presentó una menor concentración de contaminantes, los cuales

quedaron retenidos en los diferentes medios filtrantes. Sin embargo, es importante mencionar que este desarrollo es una primera aproximación y requiere validaciones de otros elementos presentes en el agua para concluir su uso hogareño (Condolucci, Porro y Lampert, 2021). El análisis de agua realizado, puso en evidencia que en el país aún existen regiones que no cuentan con agua de calidad; la presencia de arsénico en concentraciones que superan los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA) resultan ser un gran problema para la salud, dado que quienes habitan en la zona se exponen periódicamente a un contaminante potencialmente tóxico como lo es el arsénico. El tratamiento del agua a partir del empleo de la tecnología desarrollada, demostró que resulta adecuada la remoción de arsénico, ya que el agua filtrada disminuyó su concentración a valores que se ubican dentro de los límites de la reglamentación vigente. Sin embargo, cabe aclarar que este filtro es aplicable solo a este tipo de agua, dado que fue diseñado en base a las características que la misma presentaba; para su aplicación en zonas con agua de otra calidad, deberán re-evaluarse ciertas consideraciones como la cantidad de tornillos a emplear y la vida útil, dado que estos parámetros son directamente proporcionales a las concentraciones de contaminante presentes en el medio a tratar.

Esta actividad, al integrar diferentes aspectos de Química, Toxicología, Geografía y Biología, se encuentra diseñada para el último año de la escuela secundaria en la asignatura “Ambiente, Desarrollo y Sociedad” donde figura el arsénico en agua como caso de estudio.

Próximamente se publicará un artículo con el procedimiento detallado, pero nos parece importante presentar la idea que puede ser adaptada por cada docente según el nivel educativo donde se desempeña, la materia que dicta, la región donde se encuentra la institución educativa y los contaminantes que se presentan en las aguas de uso cotidiano del estudiantado.

Conclusiones

La educación CTS ha contribuido, y lo sigue haciendo, a la formación de una ciudadanía con pensamiento crítico. Entre los aportes realizados ocupa un lugar preponderante la Educación Ambiental que es indispensable para la sustentabilidad de nuestro entorno. Una de las problemáticas más acuciantes hoy en día es la contaminación del agua, que aparece explícitamente en el ODS 6 “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Detectar el interés del estudiantado por esta temática y motivarlo con secuencias didácticas que se relacionen con su vida cotidiana es un deber para el profesorado CTS. Para Argentina, hemos seleccionado como tema la contaminación del agua con el arsénico, que produce la enfermedad conocida como HACRE. En cada país habrá que encontrar los contaminantes que sean familiares para cada acuífero y trabajar con eso en las aulas. Solo favoreciendo que el estudiantado se involucre activamente en su formación y en la sustentabilidad del planeta lograremos nuestros objetivos de educación CTS.

No es menor resaltar la importancia del proyecto ROSES que ha permitido escuchar la voz del estudiantado frente a los desafíos ambientales y orientar la enseñanza a sus intereses, preocupaciones y rol activo en la búsqueda de soluciones.

Contribución de los autores/as

El trabajo ha sido elaborado en conjunto por ambos autores, y será presentado por Silvia Porro en el IX SIACTS en la Mesa Redonda 3 “Balanço da educação CTS para a Sustentabilidade”.

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i /ayuda PID2020-114191RB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/.

Referencias

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (2007). Toxicological profile for arsenic, U.S.Department of Health and Human Services, Public Health Service. Bachmann, L., y Acerbi, M. (2003). *Geografía 3: Recursos naturales y ambientes en un mundo global*. Buenos Aires: Longseller.
- Bachmann, L., y Acerbi, M. (2003). *Geografía 3: Recursos naturales y ambientes en un mundo global*. Buenos Aires: Longseller.
- Batista, A., Cárdenas, O., Castillo, J., Madrid, K., Martínez, C., & De León, A. T. (2016). Diseño y construcción de filtro multicámaras horizontal por gravedad para tratamiento de efluentes industriales. *Revista de Iniciación Científica*, 2(2), 108-114.
- Bundsuh, J. y Litter, M. I. (2010). Opciones sustentables para resolver el problema del arsénico en Iberoamerica. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Marta_Litter/publication/258631108_Opciones_sustentables_para_resolver_el_problema_de_arsenico_en_Iberoamerica/links/00b49528d15db3c4aa000000.pdf
- Cellone, F., Córdoba, J., Bilbao, L., & Carol, E. (2023). Las Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua y Saneamiento en zonas rurales de Argentina. Relevamiento de su estructura, organización, operatividad interna y las problemáticas y desafíos en la gestión del agua. *Investigaciones Regionales – Journal of Regional Research*, 2023/3(57), 51-69. <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.23.017>
- Condolucci, M. (2021). Diseño, desarrollo y transferencia de tecnologías sustentables para la remoción de arsénico en agua. Trabajo Final de la Carrera Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional de Quilmes.
- Condolucci, M., Porro, S. y Lampert, D. A. (2020). ¿Geología de los alimentos? La presencia de arsénico en agua. En: Educación, ciencia, tecnología y sociedad. Damian Lampert, Claudia Arango y Silvia Porro (Comp.). CABA: Del Aula Taller.
- Condolucci, M., Porro, S. y Lampert, D. A. (24 y 25 de noviembre 2021). *Integración Universidad-Territorio: diseño y desarrollo de un filtro fisicoquímico sustentable para la remoción de arsénico en agua*. [Comunicación oral]. Décimas Jornadas de la Agricultura Familiar, Facultad de Ciencias Veterinarias, UNLP, La Plata, Argentina.

- Corroto, C., Carrera, A. P., Calderón, E., & Cirelli, A. F. (2012). Alternativas de remoción de arsénico en aguas de rechazo de plantas de ósmosis inversa. Recuperado de: https://www.ina.gov.ar/legacy/pdf/ifrrh/02_014_Corroto.pdf
- de la Torre, F. B. (2017). Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. *Cuadernos de estrategia*, (186), 21-70.
- Estébanez, M. E. (2014). Conocimiento científico, desastres y política pública. *Scientific knowledge, disasters and public policy*. *Revista CTS*, 9(25). Recuperado de: <http://www.revistacts.net/volumen-9-numero-25>
- Flórez-Yepes, G. Y. (2015). La educación ambiental y el desarrollo sostenible en el contexto colombiano. *Revista Electrónica Educare*, 19(3), 432-443.
- Ferreira, A. C. y Thomas, H. (2022). Inclusive and Sustainable Development Requires Some Counter-Hegemonic Ideas. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(28).
- Goldín, A. (2022). *Neurociencia en la escuela: guía amigable (y sin bla bla) para entender cómo funciona el cerebro durante el aprendizaje*. Buenos Aires: Siglo XXI editores.
- Guerrero-Márquez, I. y García-Carmona, A. (2020). La energía y su impacto socioambiental en la prensa digital: temáticas y potencialidades didácticas para una educación CTS. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 17(3), 3301. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3301
- Iliná, A., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., Villarreal-Sánchez, J. A., & Gregorio-Jáuregui, K. M. (2009). Biosorción de arsénico en materiales derivados de maracuyá. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(4), 201-216.
- INDEC (2022). Resultados del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Recuperado de: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165>
- Knowles, S. G. (2020). Slow disaster in the anthropocene: a historian witnesses climate change on the Korean Peninsula. *Daedalus* 149(4), 192-206. DOI: 10.1162/DAED_a_01827
- Lampert, D. A. (2022a). De la tabla periódica a la mesa: un nuevo mapeo del arsénico en agua en la Provincia de Buenos Aires. *Revista Química Viva*, 21(3).
- Lampert, D. A. (2022b). La enseñanza de las enfermedades transmitidas por alimentos y el desarrollo del pensamiento crítico. Aportes desde la geografía de la salud. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/3822>
- Lampert, D., Condolucci, M., Crivaro, L. A., and Porro, S. (2021). Lectura crítica de análisis fisicoquímicos de agua como práctica CTS. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33, 367-373.
- Lampert, D. A. y Porro, S. (2023). Emotions and interests in social representations about the environmental problem of arsenic in water in Tandil (Buenos Aires, Argentina). *Front. Educ.* 8:1305788. doi: 10.3389/educ.2023.1305788
- Lampert, D., Porro, S., Cortizas, L., Condolucci, M., & Crivaro, L. (2022). Desastres rápidos y lentos, y la generación de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) y zoonosis en el antropoceno. *Divulgatio. Perfiles académicos De Posgrado*, 6(17), 51-66. <https://doi.org/10.48160/25913530di17.204>
- Litter, Marta (2018). Arsénico en agua. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita.



- Litter, M. I., Sancha, A. M., & Ingallinella, A. M. (2010). Tecnologías económicas para el abatimiento de arsénico en aguas. *Buenos Aires, Argentina: Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*.
- Manassero-Mas, M., & Vázquez-Alonso, Ángel. (2023). Uma análise da mudança de atitudes gerais em relação ao ambiente da juventude espanhola. *Indagatio Didactica*, 15(1), 369-388. <https://doi.org/10.34624/id.v15i1.32279>
- Mejía Sandoval, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77-99. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428096010.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas (2021). Informe de coyuntura sobre Acceso e igualdad al agua y al saneamiento -marzo 2021. Programa de Monitoreo y Evaluación del Ministerio de Obras Públicas. República Argentina.
- ONU (2010). El derecho humano al agua y el saneamiento. Asamblea General de Naciones Unidas, A/RES/64/292. Recuperado de: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S (01.09.2020).
- ONU (2015): Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>
- Palacios Valencia, Y. (2020). "Acceso al agua potable y saneamiento: Desafío en las Américas para colectivos étnicos desde los estándares internacionales de protección de los derechos humanos", *Relaciones Internacionales*, nº 45, pp. 137-162.
- Pasquini, A. y Lecomte, P. (2018). Venenos en la naturaleza ¿Existe la contaminación natural? *Revista Cicterránea*, 2 (2) 4,-11.
- Porro, S. (2022) Algunas reflexiones sobre la enseñanza de la Química...y más. *Nuevas Perspectivas*. I (1),1-23
- Ramírez, A. V. (2013, July). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico: actualización bibliográfica para investigación científica. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 74, No. 3, pp. 237-248). UNMSM. Facultad de Medicina.
- Red de Seguridad Alimentaria (RSA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (2018). Informe final: Arsénico en Agua. <https://rsa.conicet.gov.ar/?s=arsenico+en+el+agua>
- Santa Cruz, H., Martínez, J. H., Blasón, G., Magario, I. M., & Zanoni, H. R. (2020). Ingeniería aplicada con proyección social: "filtro casero" para eliminar arsénico en zonas rurales. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 7(2), 45-50.
- Thomas, H. (2020). *Tecnologías para incluir: ocho análisis socio-técnicos orientados al diseño estratégico de artefactos y normativas*. Lenguaje claro Editora.
- UNESCO (2003). «Water for People, Water for Life», Naciones Unidas World Water Development Report (WWDR), Part II: A look at the world's freshwater resources. World Water Assessment Program (WWAP), www.unesco.org.
- Vallejos, V. H.; Botana, M. I.; Pohl Schnake, V. (2009) Transformaciones territoriales y problemas ambientales en la zona de los Esteros del Iberá [En línea]. XI Jornadas de Investigación del Centro de Investigaciones Geográficas y del Departamento de Geografía, 12 y 13 de noviembre de 2009, La Plata. Disponible en: http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.826/ev.826.pdf

Valles-Aragón, M. C., & Alarcón-Herrera, M. T. (2014). Retención de arsénico en humedales construidos con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 143-148.

World Health Organization (2004). *Guidelines for drinking-water quality*. 3ª ed., Vol. 1. Recommendations. Geneva, WHO.

World Health Organization. (2019). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities*. World Health Organization.