



Navegando la controversia sociocientífica sobre la escasez de agua con pensamiento de futuros

Picturing the Socioscientific Issue of Water Scarcity through the Lens of Futures Thinking

Cristina Viehmann

Escuela de Humanidades y Educación, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México
crismarian@gmail.com

Natalia Bolaños Cristancho, Mariana Tafur-Arciniegas

Facultad de Educación, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia
nbolanos@uniandes.edu.co, m-tafur@uniandes.edu.co

Juan Manuel Fernández-Cárdenas

Escuela de Humanidades y Educación, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México
j.m.fernandez@tec.mx

RESUMEN • La escasez del agua plantea desafíos tanto ecológicos como educativos. Este artículo presenta una innovación didáctica implementada en una intervención educativa con estudiantes de la Universidad de los Andes (Colombia) y del Tecnológico de Monterrey (México). La innovación consistió en abordar la crisis del agua como una controversia sociocientífica, integrándola con el pensamiento de futuros. Se analizaron distintas conceptualizaciones de la crisis del agua y formas de pensamiento desarrolladas tras la intervención. El estudio se basó en una exploración cualitativa de los datos aportados por 15 participantes, recopilados mediante ensayos iniciales, producciones escritas y cuestionarios finales. Los resultados evidencian una mayor capacidad para dimensionar la complejidad del problema de la escasez del agua, así como el desarrollo de competencias críticas, divergentes y sistémicas.

PALABRAS CLAVE: Educación en ciencias; Controversias sociocientíficas; Pensamiento de futuros; Escasez del agua; Alfabetización científica para la ciudadanía.

ABSTRACT • Water scarcity poses both ecological and educational challenges. This article presents an innovative pedagogical approach explored during an educational intervention with students from Universidad de los Andes (Colombia) and Tecnológico de Monterrey (Mexico). The innovation consisted of addressing the water crisis as a socioscientific issue, integrating it with futures thinking. The study analyzed various conceptualizations of the water crisis, and the forms of thinking developed throughout the intervention. It was based on a qualitative exploration of data provided by 15 participants, collected through initial essays, written productions, and final questionnaires. The results reveal an increased capacity to grasp the complexity of the water scarcity issue, as well as the development of critical, divergent, and systemic thinking skills.

KEYWORDS: Science education; Socioscientific issues; Futures thinking; Water scarcity; Scientific literacy for citizenship.

Recepción: septiembre 2024 • Aceptación: abril 2025 • Publicación: junio 2025

Viehmann, C., Bolaños Cristancho, N., Tafur Arciniegas, M. y Fernández Cárdenas, J. M. (2025). Navegando la controversia sociocientífica sobre la escasez de agua con pensamiento de futuros. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(2), 145-164.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6297>

INTRODUCCIÓN

Este estudio se enmarca en la educación en ciencias mediante el uso de controversias sociocientíficas (CSC), que representan dilemas sociales con asociaciones conceptuales y procedimentales de la ciencia (Kolstø, 2001; Zeidler et al., 2002). En particular, el estudio se propuso analizar hallazgos derivados de la intervención educativa denominada Janus, la cual giró en torno a controversias sociocientíficas (CSC) y fue parte de un proyecto, Novus Triada, que involucró la colaboración de tres universidades: Universidad de los Andes (Colombia), Tecnológico de Monterrey (México) y la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Las CSC fomentan el desarrollo cognitivo y ético, integrando el conocimiento científico con la reflexión sobre valores y decisiones (España Ramos y Prieto Ruz, 2010). Son clave en la alfabetización científica para la ciudadanía, ya que permiten debatir las implicaciones de los avances científicos y tomar decisiones informadas (Oulton et al., 2004; Sadler, 2011). Esta alfabetización implica usar información científica en la vida cotidiana, participar en debates públicos y comprender el mundo natural (Kolstø, 2001).

Este estudio se centró en la controversia de la escasez del agua, en la que trabajaron estudiantes de México y Colombia. La elección de este tema respondió a su alta pertinencia en ambos contextos nacionales, donde los desafíos hídricos ocupan un lugar destacado en la agenda pública. En México, en el año 2023, en el que se llevó a cabo la intervención, la escasez de agua era crítica, con predicciones de «día cero» para el Valle de México (González Díaz, 2024). En Colombia, aunque no había racionamiento en ese momento, el fenómeno de El Niño y el cambio climático intensificaron las preocupaciones por la distribución del agua (Salamanca, 2024) y la necesidad de explorar sistemas acuíferos adecuados (Aranguren-Díaz et al., 2024).

El objetivo del estudio fue analizar cómo los estudiantes universitarios conceptualizaron la crisis del agua. Esta perspectiva se alinea con investigaciones previas sobre educación y sostenibilidad hídrica, desarrolladas en distintos contextos y niveles escolares. Por ejemplo, Benarroch et al. (2022) identificaron en futuros docentes dificultades conceptuales sobre el agua, resaltando la necesidad de una educación ambiental más sólida. Pozo-Muñoz et al. (2023) evidenciaron bajos niveles de conciencia ambiental en estudiantes de primaria, subrayando la importancia de enfoques interdisciplinarios. Castro-Velázquez et al. (2024) evaluaron una propuesta educativa en secundaria, mostrando cómo la enseñanza contextualizada fortalece la comprensión y percepción del problema hídrico.

El tratamiento educativo de la escasez de agua en el nivel universitario se considera pertinente por el rol que desempeñan los jóvenes adultos en la toma de decisiones futuras. Distintos estudios han evidenciado que las instituciones de educación superior constituyen espacios estratégicos para la promoción de una cultura del agua. Por ejemplo, Carrillo Quiroga et al. (2022) exploraron la percepción sobre la escasez y la conservación del agua entre estudiantes universitarios en Tamaulipas, México, encontrando una alta preocupación por el tema, pero también una limitada conciencia ambiental y escasa adopción de acciones concretas. En un estudio longitudinal en Estados Unidos, Mahler (2019) demostró que la educación científica universitaria puede modificar significativamente las ideas preconcebidas del alumnado sobre los problemas hídricos, contribuyendo a alinear sus opiniones con el conocimiento científico. A su vez, Broering et al. (2024) identificaron entre estudiantes universitarios brasileños una desconexión entre creencias ambientales y acciones cotidianas relacionadas con el consumo de agua, sugiriendo la necesidad de intervenciones educativas más contextualizadas.

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Las controversias sociocientíficas como enfoque educativo en la alfabetización científica

Hodson (2003) señaló que la enseñanza científica tradicional, centrada en la transmisión de conceptos abstractos y descontextualizados, no responde a las necesidades actuales de formar ciudadanos capaces de comprender, analizar y participar críticamente en controversias sociocientíficas que afectan a sus vidas y su entorno. Hodson propuso una alfabetización científica enfocada en formar a ciudadanos responsables para enfrentar problemas globales. En la misma línea, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (UNDP, 2015) enfatizan la educación científica como clave para una ciudadanía activa y alfabetizada (Chowdhury et al., 2020), alineándose con la Agenda 2030, que destaca la toma de decisiones informadas sobre temas sociocientíficos (Archila et al., 2022).

El movimiento Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), surgido en los años ochenta, integró la ciencia en la sociedad y la ciudadanía, seguido por el enfoque Ciencia, Tecnología, Sociedad y Medio Ambiente (CTSM) (Zoller, 2011). A inicios de los 2000, Hodson (2003) y Zeidler (2003) criticaron ambos enfoques por no abordar suficientemente las cuestiones éticas y el desarrollo moral (Klaver y Walma van der Molen, 2021). En respuesta, surgió el enfoque de las controversias sociocientíficas (CSC), que enfatizan «la formación de la virtud y el carácter como objetivos pedagógicos a largo plazo» (Zeidler, 2014, p. 699) y «empoderan a los estudiantes para manejar los temas basados en la ciencia que dan forma a su mundo» (Sadler, 2004, p. 514).

En las últimas décadas, la educación en ciencias ha adoptado enfoques que trascienden el simple «aprender ciencia», «aprender sobre la ciencia» o «hacer ciencia». La OCDE, en su descripción de la base de datos de PISA 2015, define la alfabetización científica como la capacidad del estudiante para analizar los aspectos políticos, económicos, morales y éticos de la ciencia y la tecnología en relación con problemas personales y globales. En la educación superior, la educación en ciencias le ha apuntado a desarrollar un enfoque epistemológico integrador, interdisciplinario y transdisciplinario, necesario para cultivar una ciudadanía autónoma, es decir, donde cada ciudadano esté preparado para comprender y participar en discusiones sobre los complejos problemas contemporáneos que plantea la sociedad actual (Correia et al., 2010).

La integración del pensamiento de futuros con el enfoque basado en controversias sociocientíficas

El enfoque Controversias Sociocientíficas (CSC) busca empoderar al estudiantado como ciudadanía activa. No obstante, diversos autores han señalado que, para responder de manera adecuada a los desafíos del siglo XXI, es necesario articular dicho enfoque con el pensamiento de futuros (Facer, 2012; Miller, 2018). Por ello, en este estudio se propone complementar el enfoque de las CSC con perspectivas teóricas y metodológicas sobre el pensamiento de futuros, provenientes del campo de los estudios de futuros (por ejemplo, Ahvenharju et al., 2018). Un enfoque común para analizar el pensamiento de futuros en este campo consiste en la creación de escenarios o imágenes del porvenir (Bishop et al., 2007).

Según Hervé y Panissal (2022), en el contexto del Antropoceno, la época geológica marcada por el impacto humano en la Tierra (Crutzen y Stoermer, 2021), resulta indispensable pensar en futuros posibles y evaluar las acciones presentes en función de sus consecuencias. Por esta razón, Sauvé (2011) observa que las corrientes educativas sobre controversias sociocientíficas, educación de futuros y ciertos enfoques de la educación ambiental están convergiendo, integrándose en una tradición crítica y política de escolarización de cuestiones ambientales.

En la última década, la educación científica ha explorado iniciativas para integrar el pensamiento de futuros en las experiencias de enseñanza y aprendizaje (Rasa et al., 2022). Antes de este período, el futuro se abordaba de manera implícita, como señala Pauw (2021, p. 15), en términos «dados por sentido». En contraste, estudios recientes, como los de Levrini et al. (2019, 2021), Rasa y Laherto (2022) y Laherto y Rasa (2022), investigan cómo las pedagogías inspiradas en perspectivas futuras se están adaptando a la educación científica e invitan a los estudiantes a explorar el futuro de manera crítica y creativa.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN Y MÉTODO DE ANÁLISIS

Preguntas de investigación

Abordar controversias sociocientíficas en la educación es esencial para equipar a los estudiantes con las herramientas para entender y responder a los desafíos complejos que enfrenta la sociedad actual. En particular, las crisis medioambientales, como las relacionadas con el agua, demandan un enfoque educativo que no solo informe, sino que también inspire al estudiantado a reflexionar. Con base en estas premisas se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cómo conceptualizaron la crisis del agua los estudiantes tras la intervención educativa?
2. ¿Qué formas de pensamiento desarrollaron los estudiantes durante su proceso de aprendizaje?

Diseño del estudio y participantes

El estudio adoptó un enfoque hermenéutico cualitativo para analizar los ensayos iniciales, las producciones escritas de las y los estudiantes, así como los cuestionarios finales, capturando la complejidad de las percepciones estudiantiles sobre la controversia sociocientífica del agua y el pensamiento de futuros.

La intervención se desarrolló entre octubre y noviembre de 2023, contando con la participación de estudiantes de pregrado y posgrado. Por parte de la Universidad de los Andes, participaron estudiantes inscritos en los cursos Educación y Ciencia y STEM para primera infancia. El primero es una electiva abierta a todos los estudiantes de pregrado de la universidad, mientras que el segundo es un curso de posgrado perteneciente a la Maestría en Educación. Por parte del Tecnológico de Monterrey, participaron estudiantes de posgrado inscritos en el curso Teorías de aprendizaje en el contexto educativo, impartido en los programas de Maestría en Educación y Maestría en Tecnología Educativa. La intervención fue integrada como parte del contenido de los cursos impartidos y la participación de los estudiantes formó parte de su evaluación final. En la tabla 1 se presenta un resumen visual de las características de los y las participantes en la intervención, destacando su distribución por institución, género, nivel de estudios, campos académicos, así como el rango de edades y la diversidad de disciplinas representadas.

Como se observa en la tabla 1, más de la mitad de los estudiantes (8) pertenecen a estudios de pregrado en carreras diversas, mientras que 7 cursan estudios de posgrado de corte educativo. En este sentido, la intervención adquirió un valor añadido al incidir en la formación de futuros docentes, quienes podrán transferir los aprendizajes adquiridos a sus propias prácticas pedagógicas. Como señalan Benarroch et al. (2022), el rol formativo del profesorado adquiere especial relevancia por su capacidad de generar cambios a mayor escala. En cuanto a los estudiantes de pregrado, su procedencia de campos como ingeniería, arquitectura, psicología y artes confiere a la muestra un carácter heterogéneo. Este resulta particularmente valioso, ya que permite explorar cómo una propuesta de alfabetización científica puede tener cabida en contextos formativos no necesariamente vinculados con la educación o las ciencias, y pone de relieve la transversalidad potencial de este tipo de enfoques.

Tabla 1.
Perfil de las y los participantes en la intervención

| | |
|-------------------------------|---|
| Número total de participantes | 15 estudiantes en total: - 6 estudiantes de posgrado del Tecnológico de Monterrey - 9 estudiantes de pregrado y posgrado de la Universidad de los Andes |
| Género y edades | Mujeres (8), Hombres (6), Otro (1) Estudiantes entre 19 y 43 años |
| Áreas y niveles de estudio | Posgrado (7): - Maestría en Educación (Universidad de los Andes y Tecnológico de Monterrey) - Maestría en Tecnología Educativa (Tecnológico de Monterrey) |
| | Pregrado (8): - Universidad de los Andes: Ingeniería (3), Arquitectura (1), Pedagogía (1), Artes (3) |

Procedimiento de la intervención

La experiencia educativa se desarrolló durante seis semanas utilizando Talenta, una plataforma de enseñanza *online* (figura 1), y espacios de trabajo colaborativo en FigJam.

En el proyecto, los equipos fueron formados por los profesores de los cursos participantes en colaboración con los estudiantes de cada universidad. Cada equipo estaba compuesto por un máximo de cinco integrantes. El trabajo fue presencial en el caso de la Universidad de los Andes y remoto en el del Tecnológico de Monterrey, combinando interacciones asíncronas en FigJam y síncronas con Zoom o WhatsApp. La participación de estudiantes de diversas regiones de Colombia y México enriqueció el intercambio de ideas desde distintos contextos culturales y geográficos, generando una experiencia colaborativa, diversa y significativa.



Fig. 1. Inicio de la experiencia educativa en la plataforma Talenta

Toda la experiencia fue gamificada y tuvo lugar en un entorno ficticio: la estación interest espacial Janus (figura 2). En este marco, un personaje llamado Cerebrum (figura 3) actuó como guía, liderando la experiencia de viaje entre las múltiples dimensiones del espacio.



Fig. 2. Estación interest espacial Janus: escenario de la experiencia educativa gamificada



Fig. 3. Cerebrum, la guía de inteligencia artificial para la experiencia educativa gamificada

La tabla 2 esquematiza la secuencia didáctica implementada semana a semana en el proyecto, destacando las principales actividades realizadas durante cada etapa. En el esquema se resaltan las tres actividades seleccionadas como instrumentos clave para la obtención de datos: los ensayos individuales titulados «Mi vida en el 2040», donde los estudiantes plasmaron su visión del futuro; los «diálogos del futuro», en los que los participantes exploraron posibles situaciones en los escenarios creados; y los cuestionarios finales, con reflexiones personales de los estudiantes al concluir la secuencia.

Tabla 2.
Secuencia didáctica implementada semana a semana

| <i>Secuencia</i> | <i>Contenido</i> | <i>Actividades</i> |
|------------------|---|--|
| Semana 1 | Introducción a las CSC y la prospectiva; establecimiento de las bases teóricas y prácticas del proyecto | Actividad individual: Familiarización con las plataformas Talentia y FigJam ★ |
| Semana 2 | Análisis STEEP para explorar tendencias emergentes y problemáticas | Actividad individual: «Mi Vida en el Año 2040» (ensayo inicial) ★ |
| Semana 3 | Exploración de señales de cambio. Identificación de señales usando técnica de búsqueda web | Actividad en equipo: «Tarjetas de escaneo» |
| Semana 4 | Identificación de incertidumbres críticas | Actividad en equipo: Identificación de vectores de cambio (incertidumbres críticas) |
| Semana 5 | Creación de escenario futuro utilizando la matriz 2 × 2 | Actividad en equipo: Desarrollo de los «Diálogos del futuro» ★ |
| Semana 6 | Cierre del proyecto | Actividad individual: Cuestionario*. Reflexiones finales tras completar la secuencia ★ |

Nota: ★ Actividades seleccionadas como instrumentos para la obtención de datos.

A lo largo de seis semanas, se desarrolló el proyecto abordando la crisis del agua como un problema complejo con dimensiones científicas, sociales y políticas. En la primera semana, se establecieron las bases del proyecto y se introdujeron las controversias sociocientíficas (CSC). Se discutió la desigual distribución del agua en América Latina y los efectos del cambio climático, con énfasis en la situación de México, donde la sequía y la sobreexplotación de acuíferos amenazan la seguridad hídrica (López, 2023), y en la de Colombia, donde la escasez se agrava por el cambio climático, la falta de infraestructura y la contaminación del agua (Banco Mundial, 2021).

En la segunda semana, se utilizó el análisis STEEP para examinar factores que afectan a la crisis del agua en las dimensiones social, tecnológica, económica, ecológica y política (Burt et al., 2006), incluyendo las cuestiones del cambio climático, la privatización del agua y la urbanización. En la actividad «Mi Vida en el Año 2040», los estudiantes imaginaron su futuro personal y laboral en escenarios donde la disponibilidad de agua influía en su calidad de vida. Durante la tercera semana, se exploraron señales de cambio, entendidas como innovaciones o eventos que podrían transformar la gestión del agua en el futuro (Futures Centre, 2024). Los estudiantes investigaron nuevas políticas y tecnologías para el acceso al agua mediante búsquedas avanzadas en la web con operadores booleanos y documentaron sus hallazgos en la actividad «tarjetas de escaneo». En la cuarta semana, se analizaron incertidumbres críticas, factores inciertos con impacto significativo en el futuro (Holt, 2023), como la efectividad de regulaciones ambientales, el cambio climático en las reservas hídricas y avances en desalación o reciclaje de agua. La quinta semana estuvo dedicada a la aplicación del método 2 × 2 para la creación de escenarios (Rhydderch, 2017), donde los estudiantes desarrollaron narrativas sobre futuros hídricos, desde escenarios de abundancia por innovaciones tecnológicas hasta situaciones de escasez extrema por mala gestión. En los «diálogos del futuro», imaginaron conversaciones en distintos escenarios del año 2040. Finalmente, en la sexta semana, los estudiantes completaron un cuestionario de reflexión sobre cómo su percepción de la crisis del agua cambió y qué acciones pueden tomar en sus comunidades.

Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Los datos analizados en este estudio se estructuran en tres conjuntos: 15 ensayos individuales «Mi vida en el 2040», 5 «diálogos del futuro», elaborados en equipo al finalizar la experiencia, y 14 cuestionarios finales, ya que hubo quien cambió de equipo durante el proyecto.

El ensayo inicial, desarrollado al principio de la intervención, es una narrativa en la que las y los estudiantes reflexionaron sobre el impacto de la escasez de agua en su vida en 2040. Esta técnica, basada en narrativas personales ubicadas en el futuro, ha sido utilizada en estudios similares con población universitaria, en los que se parte de una visión inicial individual como punto de entrada para explorar imaginarios y construir escenarios (Rasa y Laherto, 2022).

El «diálogo del futuro» fungió como un segundo instrumento de recolección de datos, diseñado para recopilar escritos creativos de los estudiantes. Basado en la metodología de futuros experienciales (Candy, 2010), este ejercicio colaborativo invitó a los participantes a imaginar y desarrollar eventos inéditos dentro de escenarios creados por ellos mismos. A través de este instrumento, se obtuvieron narrativas que exploraron las emociones, decisiones y dilemas de los personajes al enfrentarse a eventos disruptivos, fomentando así una reflexión profunda sobre las implicaciones de futuros posibles.

El cuestionario final evaluó las percepciones y aprendizajes de los estudiantes, incluyendo cambios en su pensamiento sobre el futuro, su interés en temas científicos y tecnológicos, y su disposición a revisar sus ensayos iniciales. Estaba compuesto por siete preguntas abiertas, diseñadas para captar respuestas amplias, en línea con el enfoque cualitativo del estudio. Preguntas como «Con base en lo que aprendiste acerca de la controversia seleccionada, ¿qué sientes que podría pasar con la sociedad y el mundo en un futuro próximo?» exploraron la evolución de la perspectiva de los estudiantes sobre el futuro, conectándola con la reflexión temporal y el pensamiento sistémico descritos por Pouru-Mikkola y Wilenius (2021). De manera similar, preguntas como «¿Qué herramientas, habilidades y conceptos para pensar en el futuro sientes que adquiriste durante el curso?» evaluaron las habilidades adquiridas para imaginar escenarios posibles y preferibles, en consonancia con Miller (2018).

Para la recopilación de los datos, las y los estudiantes firmaron un consentimiento informado que explicaba los objetivos del estudio, la naturaleza voluntaria de su participación y las garantías de confidencialidad.

Análisis de datos y fases metodológicas

El análisis de datos se llevó a cabo siguiendo el marco de análisis temático inductivo propuesto por Braun y Clarke (2006). Dos investigadoras codificaron los datos utilizando Atlas.ti 24, desarrollando un esquema de codificación integral a través de un proceso iterativo y colaborativo. El proceso se inició con la organización y limpieza de los datos en Atlas.ti. Se recopilaron y anonimizaron 15 ensayos, 5 diálogos del futuro y 14 cuestionarios, formando un total de 34 documentos. Se revisó cada documento detalladamente para identificar patrones emergentes y posibles áreas de interés. En esta fase, las investigadoras realizaron una lectura en profundidad, discutiendo los primeros hallazgos sobre cómo los estudiantes conceptualizaban la crisis del agua. Durante esta exploración inicial, se identificaron nociones recurrentes sobre la responsabilidad gubernamental en la gestión del agua y la privatización del recurso hídrico, lo que posteriormente guio la codificación.

En una segunda fase, se generaron códigos a partir de segmentos significativos de los textos, con un enfoque abierto y basado en los datos. Se identificaron expresiones clave en las respuestas de los estudiantes, que luego fueron agrupadas en categorías emergentes. Por ejemplo, la siguiente cita se codificó como «Agua como bien público / Responsabilidad gubernamental»: «En este lugar proliferan ahuehuetes milenarios, manantiales, un chapoteadero y una alberca y es, de acuerdo con los pobladores de esta zona, propiedad pública, además que desde hace ya varias generaciones era un centro recreativo para los habitantes de esta zona» (Ensayo, Estudiante 2).

Una vez generados los códigos iniciales, se agruparon en temas más amplios. Se identificaron cinco ejes temáticos principales: 1) Significados del agua, 2) Causas del problema, 3) Manifestaciones de la crisis del agua, 4) Soluciones imaginadas por los estudiantes y 5) Desarrollo de formas de pensamiento.

En la siguiente fase, se evaluó la coherencia interna de cada tema y se ajustaron las agrupaciones. Se reconsideraron algunos códigos iniciales y se verificó si los datos respaldaban los temas emergentes. Esto llevó a una revisión en la que se distinguieron categorías específicas dentro de soluciones imaginadas, tales como: Políticas gubernamentales, Cooperación internacional y Políticas educativas. Por ejemplo, en relación con las políticas gubernamentales, un estudiante mencionó: «Por lo menos a nivel social, noto un cambio evidente en Bogotá. La expansión de páramos y plantación de frailejones son temas de conversación frecuentes. Hoy más que nunca la gente se ha unido para proteger estos ecosistemas esenciales» (Ensayo, Estudiante 5).

Durante el proceso de codificación, se identificaron patrones en las respuestas de los cuestionarios finales que sugerían el desarrollo de distintas formas de pensamiento. Para facilitar esta tarea, se trabajó de manera estrecha con definiciones previamente establecidas de cada forma de pensamiento, lo cual permitió interpretar las declaraciones estudiantiles como indicios concretos de dichas competencias. En este sentido, se consideraron diversas habilidades de pensamiento de orden superior, frecuentemente desarrolladas mediante el enfoque de controversias sociocientíficas (CSC) (Rahayu, 2023). Entre ellas, el pensamiento divergente, entendido como la capacidad de generar respuestas variadas y originales (Guilford, 1950), resulta especialmente relevante en contextos educativos orientados a la exploración de futuros posibles, ya que permite imaginar escenarios alternativos y proponer soluciones creativas (Cropley, 2001).

También se reconoció la presencia de pensamiento sistémico, el cual posibilita la comprensión de fenómenos complejos al identificar relaciones causales, dinámicas de retroalimentación e interdependencias entre sistemas naturales y sociales (Meadows, 2008). El pensamiento crítico, por su parte, se manifestó en la capacidad del estudiantado para evaluar información de forma reflexiva, fundamentar sus posturas y distinguir entre evidencias sólidas y afirmaciones infundadas (Bailin, 2002).

Asimismo, se identificaron expresiones asociadas a una mentalidad proactiva, caracterizada por la disposición a actuar, proponer mejoras y asumir responsabilidad frente a problemáticas complejas. Esta actitud se vincula con la noción de agencia, entendida como la capacidad de influir en el entorno y participar en su transformación (Emirbayer y Mische, 1998). Por último, se tomó en cuenta el pensamiento temporal, que permite conectar pasado, presente y futuro, anticipar consecuencias a largo plazo y adoptar una perspectiva intergeneracional clave para el ejercicio de una ciudadanía responsable (Hervé y Panissal, 2022).

RESULTADOS

Significados del agua

La tabla 3 recoge las ocurrencias de los diversos significados del agua, destacando los más mencionados. Presenta los significados del agua y su número de citas en dos momentos: al inicio de la intervención (ensayos) y al finalizar la intervención (diálogos del futuro y cuestionarios). Los significados están ordenados según el total de citas identificadas.

Tabla 3.
Tabla de ocurrencias de los subtemas pertenecientes al tema «Significados del agua»

| <i>Significados del agua</i> | <i>Número de citas en los ensayos iniciales</i> | <i>Número de citas en los diálogos del futuro y en los cuestionarios finales</i> | <i>Totales</i> |
|---|---|--|----------------|
| Recurso privatizable / Con el que se puede lucrar | 7 | 10 | 17 |
| Causa de conflicto | 10 | 4 | 14 |
| Detonador de desarrollo | 5 | 9 | 14 |
| Derecho fundamental | 6 | 8 | 14 |
| Conector con la naturaleza | 6 | 7 | 13 |
| Bien público / Responsabilidad gubernamental | 6 | 7 | 13 |
| Esencial para la vida | 8 | 4 | 12 |
| Recurso limitado/insuficiente | 9 | 2 | 11 |
| Problema global | 5 | 4 | 9 |
| Totales | 58 | 49 | 107 |

El significado del agua como un recurso privatizable, y con el que se puede lucrar es el más citado, con 17 menciones. Esto refleja una posible preocupación común en México y Colombia, donde la privatización del agua ha sido un tema polémico. Por ejemplo, un estudiante de México mencionó en el cuestionario final la resistencia de los pueblos indígenas, como los otomíes, contra la privatización del agua: «Encontré noticias más cercanas a mi contexto, pero que los medios masivos de comunicación de mi localidad no difunden por miedo o corrupción. Una de estas noticias que revisé fue que indígenas otomíes desde hace dos años han formado un frente común con otros pueblos, también indígenas, contra la privatización del agua en México» (Cuestionario, Estudiante 14).

En la tabla 3 se observa también que el agua fue frecuentemente percibida como una causa de conflicto. En los ensayos iniciales, donde se les pidió imaginar el mundo en el año 2040, varios estudiantes describieron escenarios alarmistas en los que las guerras por el acceso al agua eran una amenaza tangible para la humanidad. Por ejemplo, el Ensayo del Estudiante 2 describe un futuro donde los espacios públicos como los ojos de agua, que antes se disfrutaban pacíficamente, están bajo control privado, provocando conflictos sociales: «Pese a la advertencia, la gente entró al predio para disfrutar de la alberca, pero fueron reprimidos por elementos de la policía estatal del municipio de Escobedo». Esto ilustra cómo los estudiantes vinculan el acceso al agua con temas de justicia social y derechos comunitarios.

En los cuestionarios finales, el tema del conflicto persiste, pero con una evolución hacia una visión más global, lo que sugiere un desarrollo en el pensamiento sistémico de los estudiantes. Por ejemplo, en el cuestionario final del Estudiante 3 se menciona la posibilidad de conflictos internacionales por la escasez de agua, reflejando una perspectiva más amplia. Además, en el diálogo del futuro 4, un representante del movimiento ficticio TodosSomosAgua destaca el acuerdo «Latinoamérica territorio de agua y vida» como medida para evitar conflictos hídricos regionales.

El agua también fue reconocida como un detonador clave del desarrollo, explorado principalmente en los diálogos del futuro y en los ensayos finales. En el diálogo del futuro 1, los estudiantes imaginaron un escenario en un país africano en vías de desarrollo, donde el acceso al agua limpia transformó la vida de sus habitantes. Los ciudadanos ficticios expresan: «Ahora, con agua limpia, nuestras familias están más saludables, y la luz ha abierto nuevas oportunidades para la educación y el desarrollo». Este relato destaca cómo el acceso al agua es visto como un catalizador para el bienestar general, impulsando mejoras en salud, educación y cohesión social.

Los significados del agua como derecho fundamental, conector con la naturaleza y como bien público son también prominentes. Además, la tabla 3 presenta otros significados atribuidos al agua por el estudiantado, que van desde su rol esencial en la vida, su condición de recurso limitado o insuficiente y su dimensión como problema global.

Causas del problema del agua

La tabla 4 recoge las ocurrencias de los subtemas pertenecientes al tema «causas del problema», con el número de citas en los ensayos iniciales y en los diálogos del futuro y cuestionarios finales.

Tabla 4.
Tabla de ocurrencias de los subtemas pertenecientes al tema «Causas del problema»

| <i>Causas del problema</i> | <i>Número de citas en los ensayos iniciales</i> | <i>Número de citas en los diálogos del futuro y en los cuestionarios finales</i> | <i>Totales</i> |
|-----------------------------|---|--|----------------|
| El agua en manos privadas | 3 | 8 | 11 |
| Contaminación de aguas | 8 | 2 | 10 |
| Mala gestión / Mal gobierno | 4 | 6 | 10 |
| Consumo sin consciencia | 9 | 1 | 10 |
| Corrupción/Abuso de poder | 2 | 7 | 9 |
| Cambio climático | 7 | 2 | 9 |
| Aumento de la población | 3 | 0 | 3 |

La causa del problema más mencionada es «El agua en manos privadas». Como se expuso anteriormente, en México y Colombia, la privatización del agua es un tema controvertido. Los estudiantes probablemente reconocieron que, cuando el agua se encuentra en manos privadas, puede haber un acceso desigual, donde las comunidades más vulnerables sufren escasez y las empresas buscan maximizar sus beneficios.

Otra de las causas señaladas por las y los estudiantes en relación con la crisis del agua fue la «Contaminación de aguas», especialmente relevante en los contextos de México y Colombia, donde la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales y el vertido de desechos industriales representa un problema estructural. Entre las explicaciones más recurrentes también destacan «Mala gestión / Mal gobierno» y el «Consumo sin consciencia», asociadas a prácticas institucionales ineficaces y a patrones de uso del agua poco sostenibles. Otras causas mencionadas, aunque con menor frecuencia, incluyen la corrupción y el abuso de poder, el cambio climático y el crecimiento poblacional.

Manifestaciones de la crisis del agua

Como se observa en la tabla 5, los estudiantes identificaron diversas manifestaciones de la crisis del agua, tales como conflictos, encarecimiento del agua o la escasez de recursos hídricos. En los ensayos iniciales, las manifestaciones negativas como «conflictos» y «retraso económico» fueron más frecuentes, mientras que otras, como las «sequías», no se mencionaron. Sin embargo, hacia el cierre de la intervención educativa, las menciones de algunas de estas manifestaciones disminuyeron, mientras que otras, como las «sequías», aparecieron por primera vez. Esta evolución sugiere que, al final de la intervención, los estudiantes adoptaron una perspectiva más diversa, posiblemente debido a un enfoque menos alarmista y más orientado hacia la comprensión sistémica de las causas y soluciones de la crisis del agua.

Tabla 5.

Tabla de ocurrencias de los subtemas pertenecientes al tema «Manifestaciones de la crisis del agua»

| <i>Manifestaciones de la crisis del agua</i> | <i>Número de citas en los ensayos iniciales</i> | <i>Número de citas en los diálogos del futuro y en los cuestionarios finales</i> | <i>Totales</i> |
|--|---|--|----------------|
| Conflicto | 7 | 5 | 12 |
| Encarecimiento del agua | 2 | 5 | 7 |
| Escasez de recursos hídricos / Cortes | 2 | 5 | 7 |
| Sequías / Muerte de especies | 0 | 5 | 5 |
| Retraso económico / impacto en industrias | 4 | 0 | 4 |
| Mala/injusta distribución del agua | 1 | 3 | 4 |
| Alteración del sistema de producción alimentario | 2 | 1 | 3 |
| Enfermedades emergentes | 1 | 2 | 3 |
| Totales | 26 | 19 | 45 |

Soluciones futuras para el problema del agua

La tabla 6 muestra cómo el estudiantado imaginó futuras soluciones para la crisis hídrica, destacando principalmente políticas gubernamentales y soluciones tecnológicas. Las políticas gubernamentales son la solución más señalada, indicando una fuerte esperanza en el papel de los Gobiernos, aunque podría indicar una excesiva confianza en las autoridades para resolver el problema del agua. Las soluciones tecnológicas también destacan, mostrando una creencia en que la tecnología ofrecerá innovaciones efectivas, como la desalinización, la purificación, la inteligencia artificial, los productos que ahorran agua, las tecnologías para almacenamiento y la reducción de fugas, la recolección de agua de lluvia y la agricultura sostenible.

Aunque en menor proporción, las prácticas de consumo responsable y la movilización social son reconocidas como soluciones viables. Esto sugiere que los estudiantes valoran el papel de la ciudadanía en la crisis del agua y destacan la importancia de la responsabilidad personal y la presión social. Las prácticas empresariales sostenibles y la influencia de figuras públicas reflejan la comprensión de que las empresas deberían adoptar prácticas sostenibles y que figuras influyentes pueden promover soluciones.

Hacia el cierre de la intervención, las dinámicas del mercado fueron mencionadas con menor frecuencia como soluciones imaginadas por las y los estudiantes para enfrentar la escasez hídrica. Este desplazamiento puede interpretarse como una disminución en la confianza hacia mecanismos de mercado, y un giro hacia alternativas centradas en políticas gubernamentales, en la implementación de tecnologías y en la movilización social.

Tabla 6.
Soluciones imaginadas por los estudiantes para el problema de la escasez del recurso hídrico

| <i>Soluciones imaginadas por los estudiantes para el problema de la escasez del recurso hídrico</i> | <i>Número de citas en los ensayos iniciales</i> | <i>Número de citas en los diálogos del futuro y en los cuestionarios finales</i> | <i>Totales</i> |
|---|---|--|----------------|
| Políticas gubernamentales (incl. política y cooperación internacional y políticas educativas) | 24 | 36 | 60 |
| Soluciones ligadas a la implementación de tecnología | 23 | 26 | 49 |
| Movilización social | 0 | 11 | 11 |
| Ciudadanía responsable | 5 | 3 | 8 |
| Prácticas empresariales sostenibles | 2 | 4 | 6 |
| Figuras públicas, empresariales o con autoridad | 1 | 5 | 6 |
| Dinámicas del mercado (Aumento de los costos del servicio / Privatizar el agua) | 4 | 2 | 6 |
| Totales | 59 | 87 | 146 |

Desarrollo de formas de pensamiento

Además de explorar cómo las y los estudiantes dimensionaron el problema del agua, el estudio se centró en identificar las formas de pensamiento desarrolladas, a partir de una codificación cualitativa detallada de sus cuestionarios finales.

La figura 4 muestra que el pensamiento divergente y el sistémico son los más reflejados en los enunciados de los estudiantes, seguidos por el crítico y el creativo, la mentalidad proactiva y el pensamiento temporal. La alta frecuencia de pensamiento divergente y sistémico podría atribuirse a la naturaleza del proyecto sobre la escasez de agua. Las habilidades críticas y creativas también parecen haberse desarrollado, aunque en menor medida, indicando un entorno que fomentó diversas competencias cognitivas.

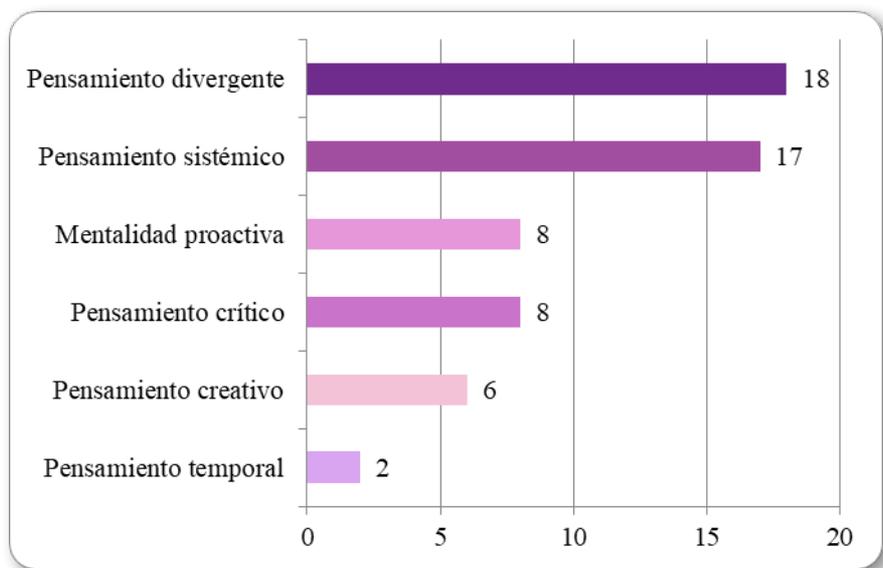


Fig. 4. Número de citas con referencias al desarrollo de formas de pensamiento (cuestionarios finales)

En las respuestas de los cuestionarios finales se identificaron indicios de desarrollo del pensamiento divergente, especialmente cuando las y los estudiantes explicaron cómo abordaron distintas tareas y desafíos. Estas declaraciones muestran que dicha forma de pensamiento se fortaleció mediante la elaboración y exploración de escenarios futuros, en los que consideraron múltiples alternativas y posibles consecuencias. Por ejemplo, un estudiante señaló: «Siento que hay dos posibles escenarios. El primer escenario es la generación de nuevas herramientas para obtener agua potable. El segundo escenario es que continúe la situación actual» (Cuestionario, Estudiante 1).

Varias declaraciones evidencian el desarrollo de un pensamiento sistémico en los estudiantes, al mostrar su capacidad para relacionar la escasez del agua con otras dimensiones sociales, tecnológicas, económicas, ecológicas y políticas. Una de las respuestas más representativas fue la de un estudiante que afirmó: «Sí, ha cambiado mi forma de pensar al reconocer la importancia de escudriñar y dar relevancia a las tendencias sociales, tecnológicas, económicas, ecológicas y políticas del momento, para poder identificar señales de cambio que me ayuden a anticipar para tomar las medidas necesarias e informadas frente a posibles futuros» (Cuestionario, Estudiante 15). Este tipo de reflexiones sugiere una comprensión más compleja del problema y una capacidad creciente para abordarlo desde una mirada integral.

Las respuestas de los cuestionarios finales revelan que varios estudiantes desarrollaron una actitud crítica frente a la información recibida. Se observaron señales de pensamiento crítico en aquellas declaraciones donde se contraponen fuentes, se cuestiona la certeza de los datos y se reconoce la complejidad de los intereses en juego. Un ejemplo representativo es el de un estudiante que, al reflexionar sobre los materiales revisados, expresó: «Leemos por un lado noticias que nos informan de la reglamentación del agua, o los principios de gobernanza del agua de la OCDE, pero, por otro lado, hay artículos que plantean situaciones de corrupción e intereses privados en el manejo del agua. Lo anterior no me brinda ninguna certeza que una cosa u otra vaya a ocurrir» (Cuestionario, Estudiante 2).

Los indicios de desarrollo del pensamiento creativo se hicieron evidentes en los testimonios que aludieron al disfrute de actividades vinculadas con la imaginación, como la escritura de los «diálogos del futuro». Una estudiante comentó al respecto: «Otra cosa que disfrutamos bastante fue escribir el diálogo del futuro, reímos inventando y dramatizando esos diálogos y creando a los personajes» (Cuestionario, Estudiante 2).

Los estudiantes también parecen haber desarrollado una mentalidad proactiva, caracterizada por un espíritu de acción y responsabilidad personal. Un estudiante, como se ilustra en la siguiente declaración, mostró su compromiso con el tema al reflexionar sobre su propio papel y el de su entorno en la mitigación de la crisis hídrica: «Terminé preguntándome, ¿qué estoy haciendo yo para mitigar el riesgo de quedarnos sin el recurso hídrico? ¿Qué está haciendo mi gobierno? ¿Cómo educar en este tema?» (Cuestionario, Estudiante 7).

Por último, los cuestionarios indicaron el desarrollo de un pensamiento temporal e intergeneracional, es decir, de la capacidad de conectar el presente con las experiencias del pasado y las consecuencias para las generaciones futuras. Un estudiante expresa esta preocupación al reflexionar sobre las condiciones de vida de las generaciones venideras, particularmente en relación con el acceso al agua: «Por otro lado, pienso en las generaciones más jóvenes en cómo es que van a vivir dentro de algunos años, particularmente me pregunto si mis hijos ¿van a tener alguna limitante que condicione el acceso al recurso?, o si ¿surgirá algún conflicto a nivel nacional o mundial?» (Cuestionario, Estudiante 3).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como se apreció en los resultados, los significados atribuidos al agua incluyeron percepciones como «recurso privatizable», «causa de conflicto», «derecho fundamental» y «detonador de desarrollo», reflejando preocupaciones y valores socioculturales de México y Colombia (González Díaz, 2024; Salamanca, 2024). La diversidad de significados atribuidos al agua muestra la comprensión multidimensional que los estudiantes desarrollaron, lo que desempeña un papel importante en el fomento de una alfabetización científica integral (Sadler, 2011; Kolstø, 2001).

Similarmente, los estudiantes identificaron diversas causas de la escasez de agua, como «privatización», «contaminación» y «mala gestión». Además, reconocieron ampliamente manifestaciones de crisis, como «conflictos», «encarecimiento del agua» y «sequías», reflejando una conciencia crítica sobre las consecuencias socioeconómicas y ambientales de la escasez de agua. En cuanto a las causas y manifestaciones de la crisis del agua, se observa una transición en el pensamiento de las y los estudiantes. En los ensayos iniciales predominaban narrativas alarmistas centradas en conflictos locales o guerras por el agua. Sin embargo, hacia el final de la intervención, las manifestaciones mencionadas se diversifican, lo que sugiere un desplazamiento hacia una comprensión más sistémica y matizada del problema. Esta evolución puede interpretarse como un indicio del desarrollo del pensamiento sistémico, tal como lo describe Meadows (2008), al conectar dimensiones sociales, ecológicas y políticas de la crisis hídrica.

Las soluciones propuestas incluyeron políticas gubernamentales, la implementación de tecnología y la movilización social. La predominancia de soluciones políticas sugiere una confianza en el papel del Gobierno para gestionar la crisis, mientras que la mención de soluciones tecnológicas indica un optimismo hacia la innovación como herramienta para resolver problemas complejos (Klaver y Walma van der Molen, 2021). La combinación de propuestas políticas, tecnológicas y sociales demuestra una comprensión sistémica y holística, lo que es consistente con el enfoque de las controversias sociocientíficas y el pensamiento de futuros (Hervé y Panissal, 2022).

Un hallazgo relevante es la reducción en las referencias a soluciones basadas en el mercado hacia el cierre de la intervención. Dinámicas como la privatización o el aumento del coste del agua fueron mencionadas con menor frecuencia como posibles salidas a la crisis, en comparación con la centralidad adquirida por las políticas gubernamentales, las soluciones tecnológicas y la movilización social. Este desplazamiento puede interpretarse de distintas formas, pero sugiere una menor confianza en el mercado como actor transformador y una mayor fe en la acción colectiva, las decisiones públicas y la cooperación internacional. En términos pedagógicos, este tipo de desplazamiento también podría reflejar el efecto del enfoque de controversias sociocientíficas, que expone al estudiantado a distintas perspectivas y le permite deliberar sobre las tensiones entre intereses económicos, sociales y ecológicos (Zeidler, 2014).

Se desarrollaron también diversas formas de pensamiento, incluyendo el pensamiento divergente, el sistémico, el crítico y el creativo, así como una mentalidad proactiva y un pensamiento temporal. El estudiantado manifestó habilidades de pensamiento divergente y creativo al imaginar futuros posibles y considerar las implicaciones de diferentes cursos de acción. Por otra parte, la capacidad de las y los estudiantes para conectar la crisis del agua con una controversia social, científica y económica demostró un desarrollo del pensamiento sistémico, lo cual es fundamental para abordar problemas complejos de manera integrada. Además, los estudiantes desarrollaron habilidades para evaluar información desde múltiples perspectivas, criticar fuentes, afrontar la desinformación y la información errónea, y reflexionar sobre las implicaciones de la crisis del agua. Esto se alinea con estudios que destacan la importancia del pensamiento crítico en la educación científica (Oulton et al., 2004; Feucht et al., 2021).

En el desarrollo de las formas de pensamiento, particularmente en el de una mentalidad proactiva y de un pensamiento temporal, las narrativas jugaron un rol importante. Tanto el ejercicio inicial «Mi

vida en 2040» como el ejercicio final de los «Diálogos del futuro» cumplieron funciones complementarias. El primero permitió a las y los estudiantes conectar el problema global de la escasez del agua con su propia experiencia futura desde un punto de vista más libre y personal. En cambio, los «diálogos del futuro» representaron una narrativa más elaborada, informada por el uso de técnicas como la identificación de incertidumbres críticas y la construcción de escenarios con la matriz 2×2 .

En conclusión, el presente estudio ilustra cómo la integración de la controversia sociocientífica sobre la problemática del agua y el pensamiento de futuros en la educación superior de dos universidades de Latinoamérica puede enriquecer la alfabetización científica. Los resultados apoyan la premisa de que una educación científica integral debe incluir habilidades de anticipación y análisis de futuros posibles (Levrini et al., 2021; Rasa et al., 2022).

A pesar del carácter limitado de la muestra y la duración acotada de la intervención, este estudio contribuye a la comprensión de los vínculos entre educación científica, CSC y futuros, y propone un marco valioso para diseñar experiencias educativas en contextos latinoamericanos. El proyecto avanza en la integración de la alfabetización de futuros en la educación superior, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos con confianza y creatividad. Futuros estudios podrán profundizar en los efectos de intervenciones más prolongadas o de carácter transdisciplinario, así como explorar el papel de las emociones en el aprendizaje de temas controversiales. Asimismo, se abre la posibilidad de adaptar estas estrategias a otros niveles educativos, incluyendo la educación media y secundaria. Futuras investigaciones podrían también ampliar la muestra y explorar una mayor diversidad de controversias sociocientíficas, especialmente en el ámbito medioambiental, aunque no exclusivamente.

REFERENCIAS

- Ahvenharju, S., Minkkinen, M., y Lalot, F. (2018). The five dimensions of futures consciousness. *Futures*, *104*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.06.010>
- Aranguren-Díaz, Y., Galán-Freyte, N. J., Guerra, A., Manares-Romero, A., Pacheco-Londoño, L. C., Romero-Coronado, A., Vidal-Figueroa, N., y Machado-Sierra, E. (2024). Aquifers and groundwater: Challenges and opportunities in water resource management in Colombia. *Water*, *16*(5), 685. <https://doi.org/10.3390/w16050685>
- Archila, P. A., Truscott de Mejía, A.-M., y Restrepo, S. (2022). Using drama to enrich students' argumentation about genetically modified foods. *Science & Education*, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00346-y>
- Bailin, S. (2002). Critical thinking and science education. *Science and Education*, *11*(4), 361-375. <https://doi.org/10.1023/A:1016042608621>
- Banco Mundial. (2021, 18 de marzo). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>
- Benarroch, A., Rodríguez-Serrano, M., y Ramírez-Segado, A. (2022). Conocimientos del profesorado en formación inicial sobre la Nueva Cultura del Agua. *Enseñanza de las Ciencias*, *40*(2). <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3554>
- Bishop, P., Hines, A., y Collins, T. (2007). The current state of scenario development: An overview of techniques. *Foresight*, *9*(1), 5-25. <https://doi.org/10.1108/14636680710727516>
- Braun, V. y Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Broering, L. A., Michel, J., Henning, E., Kalbusch, A., y Konrath, A. C. (2024). An investigation into water consumption by university students: Actions, beliefs and perceptions. *Discover Water*, *4*(114). <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00176-9>

- Burt, G., Wright, G., Bradfield, R., Cairns, G., y Van Der Heijden, K. (2006). The role of scenario planning in exploring the environment in view of the limitation of PEST and its derivatives. *International Studies of Management & Organization*, 36(3), 50-76.
<https://doi.org/10.2753/IMO0020-8825360303>
- Candy, S. (2010). *The futures of everyday life: Politics and the design of experiential scenarios*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1840.0248>
- Carrillo Quiroga, P., Gómez de la Fuente, M. del C., Chacón Hernández, J., y Santoyo Caamal, M. L. (2022). Percepción de la conservación del agua en estudiantes universitarios de Tamaulipas, México. Un análisis interdisciplinario. *Educación Química*, 33(1), 48-57.
<https://doi.org/10.22198/rys2022/34/1575>
- Castro-Velásquez, F. E., Ramírez-Segado, A., y Benarroch, A. (2024). A teaching proposal on the new water culture for students aged 14-15: Design, application and evaluation in a Colombian context. *Frontiers in Education*, 8, 1341690. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1341690>
- Chowdhury, T. B. M., Hollbrook, J., y Rannikmäe, M. (2020). Addressing sustainable development: Promoting active informed citizenry through trans-contextual science education. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/SU12083259>
- Correia, P., Valle, B., Dazzani, M., e Infante, M. M. (2010). The importance of scientific literacy in fostering education for sustainability: Theoretical considerations and preliminary findings from a Brazilian experience. *Journal of Cleaner Production*, 18, 678-685.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.011>
- Cropley, A. (2001). *Creativity in education and learning: A guide for teachers and educators*. Routledge-Falmer.
- Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000/2021). The 'Anthropocene'. En S. Benner, G. Lax, P. J. Crutzen, U. Pöschl, J. Lelieveld y H. G. Brauch (Eds.), *Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A new epoch in Earth's history* (pp. 19-21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82202-6_2
- Emirbayer, M. y Mische, A. (1998). What is agency? *American Journal of Sociology*, 103(4), 962-1023.
<https://doi.org/10.1086/231294>
- España Ramos, E. y Prieto Ruz, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 71. <https://doi.org/10.12795/IE.2010.i71.02>
- Facer, K. (2012). Taking the 21st century seriously: Young people, education and socio-technical futures. *Oxford Review of Education*, 38(1), 97-113. <https://doi.org/10.1080/03054985.2011.577951>
- Feucht, F. C., Michaelson, K., Hany, S. L., Maziarz, L. N., y Ziegler, N. E. (2021). Is the earth crying wolf? Exploring knowledge source and certainty in high school students' analysis of global warming news. *Sustainability (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212899>
- Futures Centre. (2024, 22 de junio). *What are signals of change?*
<https://www.thefuturescentre.org/signal/what-are-signals-of-change/>
- González Díaz, M. (2024, 11 de marzo). ¿Qué hay de cierto en que Ciudad de México podría quedarse sin agua y llegar a su «día cero»? *BBC*. <https://www.bbc.com/mundo/articulos/czvz81g5l45o>
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444-454.
<https://doi.org/10.1037/h0063487>
- Hervé, N. y Panissal, N. (2022). Writing fictional short stories about the Anthropocene: Effects on students' futures thinking. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.842252>
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670. <https://doi.org/10.1080/09500690305021>
- Holt, B. (2023). *The strategic foresight book*. IFRC Solferino Academy.

- Klaver, L. T. y Walma van der Molen, J. H. (2021). Measuring pupils' attitudes towards socioscientific issues: Development and validation of a questionnaire. *Science and Education*, 30(2), 317-344. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00174-y>
- Kolstø, S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85(3), 291-310. <https://doi.org/10.1002/scs.1011>
- Laherto, A. y Rasa, T. (2022). Facilitating transformative science education through futures thinking. *On the Horizon: The International Journal of Learning Futures*, 30(2), 96-103. <https://doi.org/10.1108/OTH-09-2021-0114>
- Levrini, O., Tasquier, G., Branchetti, L., y Barelli, E. (2019). Developing future-scaffolding skills through science education. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2647-2674. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1693080>
- Levrini, O., Tasquier, G., Barelli, E., Laherto, A., Palmgren, E., Branchetti, L., y Wilson, C. (2021). Recognition and operationalization of future-scaffolding skills: Results from an empirical study of a teaching-learning module on climate change and futures thinking. *Science Education*, 105(2), 281-308. <https://doi.org/10.1002/scs.21612>
- López, S. (2023, 7 de septiembre). Escasez de agua y sequía en México: Crisis actual. *IMCO*. <https://imco.org.mx/escasez-de-agua-y-sequia-en-mexico-crisis-actual/>
- Mahler, R. L. (2018). University science-based education positively impacts college student views of water issues. *Natural Sciences Education*, 47(1), 1-7. <https://doi.org/10.4195/nse2018.11.0020>
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems*. Chelsea Green Publishing.
- Miller, R. (Ed.). (2018). *Transforming the future: Anticipation in the 21st century*. Routledge.
- OCDE. (2015). *Base de datos PISA 2015*. <https://www.oecd.org/en/data/datasets/pisa-2015-database.html>
- Oulton, C., Dillon, J., y Grace, M. M. (2004). Reconceptualizing the teaching of controversial issues. *International Journal of Science Education*, 26(4), 411-423. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072746>
- Paige, K. y Lloyd, D. (2016). Use of future scenarios as a pedagogical approach for science teacher education. *Research in Science Education*, 46(2), 263-285. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9505-7>
- Pauw, I. (2021). *Envisioning futures in school geography*. [Tesis doctoral inédita]. Vrije Universiteit Amsterdam.
- Pouru-Mikkola, L. y Wilenius, M. (2021). Building individual futures capacity through transformative futures learning. *Futures*, 132, 102804. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102804>
- Pozo-Muñoz, M. P., Martín-Gámez, C., Velasco-Martínez, L. C., y Tójar-Hurtado, J. C. (2023). Research and development of environmental awareness about water in primary education students through their drawings. *Education Sciences*, 13, 119. <https://doi.org/10.3390/educsci13020119>
- Rahayu, S. y Rosawati, E. (2023). The development of higher-order thinking skills (HOTS) assessment instrument in chemistry using socioscientific issues context: A preliminary trial. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0118624>
- Rasa, T. y Laherto, A. (2022). Young people's technological images of the future: Implications for science and technology education. *European Journal of Futures Research*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40309-022-00190-x>
- Rasa, T., Palmgren, E. y Laherto, A. (2022). Futurising science education: Students' experiences from a course on futures thinking and quantum computing. *Instructional Science*, 50(3), 425-447. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09572-3>

- Rhydderch, A. (2017). Scenario building: The 2x2 matrix technique. *Futuribles*.
<https://www.futuribles.com/en/scenario-building-the-2x2-matrix-technique/>
- 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>
- Sadler, T. D. (2011). Situating socio-scientific issues in classrooms as a means of achieving goals of science education. En T. D. Sadler (Ed.), *Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research* (pp. 1-9). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1159-4_1
- Salamanca, L. F. L. (2024). Fenómeno del Niño: Todas las preguntas sobre este evento climático. *Universidad de los Andes*. <https://uniandes.edu.co/es/noticias/ciencias-biologicas/fenomeno-del-nino-todas-las-preguntas-sobre-este-evento-climatico>
- Sauvé, L. (2011). La dimensión política de la educación relativa al medio ambiente: Un cierto vértigo. *Éducation relative à l'environnement. Regards - Recherches - Réflexions*, 9.
<https://doi.org/10.4000/ere.1467>
- UNDP. (2015). *What are the sustainable development goals?*
<https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A., y Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367.
<https://doi.org/10.1002/sci.10025>
- Zeidler, D. L. (Ed.). (2003). *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-4996-X>
- Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: Theory, research, and practice. En *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267-45>
- Zoller, U. (2011). Science and technology education in the STES context in primary schools: What should it take? *Journal of Science Education and Technology*, 20, 444-453.
<https://doi.org/10.1007/s10956-011-9306-3>

Picturing the Socioscientific Issue of Water Scarcity through the Lens of Futures Thinking

Cristina Viehmann

Escuela de Humanidades y Educación, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México
crismarian@gmail.com

Natalia Bolaños Cristancho, Mariana Tafur Arciniegas

Facultad de Educación, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia
nbolanos@uniandes.edu.co, m-tafur@uniandes.edu.co

Juan Manuel Fernández Cárdenas

Escuela de Humanidades y Educación, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México
j.m.fernandez@tec.mx

Water scarcity presents not only ecological but also educational challenges. This article introduces an innovative pedagogical approach designed as part of a six-week educational intervention with university students from Universidad de los Andes (Colombia) and Tecnológico de Monterrey (Mexico). The intervention addressed the water crisis as a socioscientific issue and integrated futures thinking as a guiding framework for inquiry and reflection. Through the use of speculative scenarios, interdisciplinary research tasks, and collaborative storytelling, the experience invited students to explore the complexity of the issue while developing higher-order thinking skills. The study followed a qualitative hermeneutic design and analyzed a corpus of 34 documents produced by 15 participants, including initial essays, written group productions called «future dialogues», and open-ended final questionnaires. A thematic analysis was conducted following Braun and Clarke (2006), using Atlas.ti to code and organize the qualitative data.

Findings reveal how students conceptualized the water crisis from multiple perspectives (social, ecological, political, and technological) and how their understanding evolved throughout the intervention. The most salient representations of water included its role as a privatized resource, a trigger for conflict, a fundamental right, and a driver of development. Participants identified various causes and manifestations of the water crisis, such as contamination, mismanagement, and privatization, alongside issues like rising costs, resource depletion, and social inequality. They also proposed diverse solutions ranging from governmental policies and technological innovations to responsible consumption and civic engagement. These proposals reflect a shift away from market-driven perspectives toward more collective and systemic approaches. In parallel, students demonstrated the development of six distinct forms of thinking: divergent, systemic, critical, creative, proactive, and temporal. Future-oriented tasks, such as writing about personal futures and constructing speculative dialogues, were especially conducive to fostering imagination and intergenerational awareness. Systemic thinking was reinforced through tools like the STEEP analysis and the 2x2 scenario matrix, enabling students to link the water crisis to broader socio-environmental trends and uncertainties. The results suggest that integrating socioscientific issues with futures thinking can enrich scientific literacy in higher education, especially when addressing global challenges such as water scarcity. The pedagogical design encouraged learners to anticipate long-term consequences, engage with uncertainty, and imagine desirable futures, key competencies for a scientifically informed and civically engaged citizenry. Despite the limited scope of the sample and the short duration of the intervention, the study offers insights for designing transformative educational experiences across disciplines and educational levels.