

Moda y responsabilidad ambiental: Una propuesta didáctica basada en un problema sociocientífico

Lorena Orduña-Martínez 

Departamento de Investigaciones Educativas, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, México. lorena.orduna@cinvestav.mx

María Teresa Guerra-Ramos 

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Monterrey, México. tguerra@cinvestav.mx

[Recibido: 13 noviembre 2024; Revisado: 08 mayo 2025; Aceptado: 02 noviembre 2025]

Resumen: Uno de los objetivos de la educación en ciencias es lograr una alfabetización científica funcional que permita a los jóvenes ser ciudadanos críticos ante la coyuntura ambiental actual. El fast fashion o moda rápida es una tendencia de la industria textil a producir muchas prendas en períodos cada vez más cortos de tiempo, con la finalidad de ofrecer diversos productos de moda; lo cual tiene implicaciones ambientales, económicas y socioculturales. En este artículo se presenta el diseño y fundamento de una secuencia didáctica enmarcada en el enfoque de problemas sociocientíficos y en la argumentación. A través de cinco unidades didácticas, estudiantes de bachillerato tuvieron la oportunidad de analizar un problema sociocientífico en torno al empleo de sustancias químicas en la producción de prendas del fast fashion, mediante el uso de pruebas. Se discute la intencionalidad de las actividades y algunas implicaciones didácticas. Con la propuesta, se pretende orientar el uso de problemas sociocientíficos para abordar temas complejos de relevancia personal y social en el aula de ciencias.

Palabras clave: Argumentación, contaminación ambiental, problemas sociocientíficos, diseño didáctico, pensamiento crítico

The cost of fashion: A didactic proposal based on a socioscientific problem

Abstract: One of the objectives of science education is to achieve functional scientific literacy that enables young people to be critical citizens in the face of the current environmental situation. Fast fashion is a trend in the textile industry to produce many garments in increasingly shorter periods of time, with the aim of offering diverse fashion products; this has environmental, economic, and sociocultural implications. This article presents the design and rationale for a teaching sequence framed within the socioscientific problem approach and argumentation. Through five teaching units, high school students had the opportunity to analyze a socioscientific problem surrounding the use of chemical substances in the production of fast fashion garments through the use of evidence. The purpose of the activities and some didactic implications are discussed. The proposal aims to guide the use of socioscientific problems to address complex issues of personal and social relevance in the science classroom.

Keywords: Argumentation, environmental pollution, socioscientific problems, didactic design, critical thinking.

Para citar este artículo: Orduña-Martínez, L. y Guerra-Ramos, M. T. (2025). Moda y responsabilidad ambiental: Una propuesta didáctica basada en un problema sociocientífico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 22(3), 3203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i3.3203

Introducción

Actualmente nos encontramos en un mundo mediado por la tecnología y la globalización, donde los efectos de la industrialización y la economía global han derivado en problemáticas sociales y ambientales (Jiménez Aleixandre y Puig, 2022). Ante esta coyuntura, existe un interés por formar ciudadanos con capacidad de agencia, que partan de cuestionar los modelos de producción y consumo.

Uno de los objetivos de la educación en ciencias es lograr una alfabetización científica funcional; esto es, que los estudiantes comprendan la ciencia al tiempo que emplean sus propias consideraciones éticas al enfrentarse a problemáticas sociales (Zeidler et al., 2019). En este sentido, abordar problemas ambientales en el aula puede favorecer la agencia en los jóvenes, quienes son partícipes fundamentales en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Kyle, 2020).

Dado que la alfabetización científica contemporánea no se limita a la transmisión de contenidos conceptuales, sino que abarca también la capacidad para tomar decisiones fundamentadas y éticamente responsables, es necesario promover experiencias en el aula, donde los estudiantes puedan emplear el conocimiento científico en la resolución de problemas de relevancia personal y social. Como señala Jiménez-Aleixandre (2010), una alfabetización científica crítica implica que los estudiantes no solo comprendan conceptos científicos, sino que sean capaces de movilizarlos en contextos complejos, donde las dimensiones sociales, éticas y políticas se entrelazan.

Así pues, es deseable emplear enfoques y estrategias didácticas que promuevan la participación activa del alumnado en favor de una ciudadanía crítica. De ahí que el enfoque de problemas sociocientíficos (PSC) y la promoción de la argumentación pueden favorecer el desarrollo de un pensamiento crítico que considere habilidades del juicio propositivo y elementos de la pedagogía crítica que les permitan tomar decisiones en el futuro.

Los problemas sociocientíficos y la argumentación para desarrollar el pensamiento crítico

En las últimas dos décadas, el abordaje de PSC en el aula se ha consolidado como una estrategia clave para desarrollar el pensamiento crítico en la educación en ciencias. Son problemas controvertidos, no delimitados y socialmente relevantes, que exigen el uso de razonamientos informados por la evidencia científica; y a su vez, implican componentes éticos y morales. Además, promueven el diálogo, la discusión, el debate y la argumentación (Zeidler, 2015).

Argumentar en el contexto de un PSC implica respaldar o refutar afirmaciones con datos y justificaciones, así como participar en prácticas discursivas deliberativas y que fomenten el juicio ético. En este sentido, Zeidler (2015) y Sadler et al. (2007) señalan que los PSC promueven conflictos cognitivos y morales que pueden desafiar creencias previas de los estudiantes, favoreciendo la reflexión crítica y el aprendizaje profundo.

Desde esta perspectiva, la argumentación es considerada una práctica epistémica clave (Jiménez-Aleixandre y Erduran, 2007) y un componente esencial del pensamiento crítico que involucra habilidades como cuestionar las afirmaciones infundadas, detectar falacias y tomar decisiones informadas (Driver et al., 2000). En este sentido, Cañero-Arias et al. (2024) señalan que el análisis crítico de información, la metacognición y la argumentación son dimensiones centrales del pensamiento crítico en el tratamiento de PSC, pues permiten a los estudiantes contrastar perspectivas, aplicar el conocimiento y fortalecer sus posturas.

El modelo ENCIC-CT, propuesto por Franco-Mariscal et al. (2024), ofrece una sistematización para el desarrollo del pensamiento crítico en la educación científica mediante PSC. Este modelo

articula cuatro capas interrelacionadas: 1. los PSC como contexto; 2. dominios y dimensiones del pensamiento crítico (conocimiento, habilidades y disposiciones); 3. prácticas científicas como la argumentación; y 4. estrategias didácticas concretas. El modelo destaca que el pensamiento crítico no solo involucra habilidades cognitivas, sino también disposiciones como la autonomía, la reflexión, el compromiso social y la regulación emocional. En este marco, la argumentación abarca la evaluación crítica de información, la aplicación del conocimiento, la consideración de valores y la toma de decisiones informadas.

Una contribución relevante de este modelo es visibilizar el uso del conocimiento científico como componente esencial para argumentar con fundamento ante PSC. En este sentido, Jiménez-Aleixandre (2010) señalan que argumentar científicamente implica coordinar datos, teorías y valores para tomar decisiones razonadas, lo cual requiere comprender no solo los conceptos, sino también los criterios epistémicos que orientan la evaluación de las pruebas. Así, el conocimiento científico constituye una herramienta para deliberar, más que un fin en sí mismo. Incluso, Bravo y Jiménez-Aleixandre (2017) proponen una progresión en la capacidad de los estudiantes para movilizar dicho conocimiento en contextos de decisión, enfatizando la importancia de analizar alternativas, reconocer incertidumbres y considerar consecuencias.

Asimismo, la argumentación en torno a PSC puede desempeñar un papel fundamental en la formación de una ciudadanía crítica y activa. En este sentido, el modelo ENCIC-CT reconoce que el desarrollo de prácticas argumentativas en el aula puede constituir un espacio formativo para el ejercicio de la ciudadanía, al promover el análisis de problemas reales, la confrontación de ideas, la toma de postura fundamentada y el compromiso con el bien común.

Estudios empíricos han documentado los beneficios del trabajo con PSC para favorecer el pensamiento crítico y la argumentación. Por ejemplo, Sadler et al. (2007) encontraron que estudiantes que abordaron PSC mejoraron su habilidad para identificar evidencias relevantes y justificar sus posturas. Por su parte, Bravo y Jiménez-Aleixandre (2017) evidenciaron progresos en la coordinación entre datos y teorías en contextos de toma de decisiones. Recientemente, Cañero-Arias et al. (2024) mostraron que una secuencia didáctica centrada en el análisis del problema energético favoreció el uso crítico de información, la construcción de argumentos y la metacognición en estudiantes de secundaria.

El fast fashion y la contaminación del agua

El fenómeno del *fast fashion* (FF) o moda rápida es una tendencia de la industria textil a acortar los tiempos de producción, distribución y entrega de ropa, para ofrecer nuevos productos en el mercado de manera rápida a bajo costo (Cachon y Swinney, 2011). En esta industria, las grandes marcas de moda, para reducir costos, producen ropa en países donde la mano de obra es barata, y los derechos humanos y la seguridad ambiental no se vigilan estrictamente (Garg, 2020). Tal estructura conlleva consecuencias ambientales significativas, particularmente en relación con la contaminación del agua, un recurso crítico para los ecosistemas y la salud humana.

Uno de los principales impactos ambientales del FF está vinculado al uso intensivo de sustancias químicas durante las etapas de teñido y acabado textil. De manera que la fabricación de prendas conlleva impactos ambientales significativos, entre los que destaca la contaminación del agua por el uso de sustancias químicas (Garg, 2020). Un ejemplo es el nonilfenol etoxilado (NPE, nonylphenol ethoxylate), un surfactante ampliamente utilizado en el proceso de blanqueamiento de tejidos. Sin embargo, su persistencia en el ambiente y su transformación en nonilfenol (NP, nonylphenol) al ser liberado a cuerpos de agua constituye una amenaza para los ecosistemas acuáticos. Esta sustancia, clasificada como disruptor endocrino, ha mostrado efectos tóxicos en

peces, crustáceos y moluscos, incluyendo alteraciones en la diferenciación sexual y en el desarrollo gonadal (Soares et al., 2008).

La peligrosidad del NP radica en sus propiedades fisicoquímicas: tiene una alta estabilidad ambiental, baja biodegradabilidad y una fuerte afinidad por los lípidos, lo que favorece su acumulación en los tejidos biológicos. De esta manera, se relaciona con dos procesos clave: la bioacumulación y la biomagnificación. El primero se refiere a la acumulación progresiva de un contaminante en los organismos, y el segundo, es el aumento de la concentración de dicho contaminante a lo largo de la cadena trófica, conforme los organismos predadores consumen presas contaminadas (Popek, 2018). Ambos fenómenos son un riesgo creciente para los niveles tróficos superiores, incluyendo a los seres humanos, quienes pueden incorporar NP a través del consumo de pescado contaminado. Así, estos procesos pueden provocar efectos adversos en ecosistemas acuáticos, como alteraciones en las proporciones sexuales de las especies y potenciales riesgos cancerígenos en humanos (Soares et al., 2008).

Recientemente, Macalalag et al. (2024) reportaron el uso del FF como PSC en estudiantes de secundaria. Una profesora participante en el estudio diseñó una unidad didáctica sobre el FF, la cual permitió a los estudiantes explorar las implicaciones ambientales, así como las condiciones de explotación laboral. Los estudiantes indagaron en los fundamentos científicos del problema y desarrollaron una comprensión crítica de sus dimensiones éticas y sociales. Esta experiencia evidencia el potencial del FF, como un PSC para promover el pensamiento crítico.

Otro estudio reciente con 237 estudiantes de secundaria mostró que, al analizar la problemática del FF, los estudiantes presentaron bajos niveles en competencias para la sostenibilidad, incluyendo el pensamiento sistémico, estratégico y en valores (Baños-González et al., 2024). Aunque algunos lograron identificar injusticias sociales y ambientales asociadas al FF, muy pocos reconocieron su papel como actores involucrados, ni integraron perspectivas múltiples en sus respuestas.

Por lo tanto, el vínculo entre FF y la contaminación del agua permite abordar un PSC desde múltiples dimensiones (ambientales, sociales, éticas y políticas), lo cual lo convierte en un contexto ideal para argumentar en el aula. Por ello, este trabajo tiene como objetivo fundamentar el diseño de una secuencia didáctica para involucrar a los estudiantes en la práctica argumentativa a través de un PSC en torno al FF. Adicionalmente, se presentan algunos resultados que muestran las maneras en que argumentaron los estudiantes de manera escrita.

Diseño de la secuencia didáctica

La secuencia se diseñó en el marco de una tesis doctoral, cuyo objetivo fue documentar la práctica argumentativa de estudiantes de 16-18 años de edad para desarrollar habilidades del pensamiento crítico, tanto cognitivas y epistémicas, como de toma de conciencia.

La naturaleza y la lógica de las unidades corresponde a un marco constructivista y se basó en el modelo de planeación para la enseñanza de las ciencias propuesto por Sanmartí (2002). En el contexto de esta secuencia, el marco pone en el centro las ideas que los estudiantes han construido en torno al FF a través de la experiencia y desde su contexto cultural. Además, posibilita practicar habilidades cognitivo-lingüísticas que brindan a los estudiantes el espacio para interactuar con sus pares y reflexionar sobre las propias afirmaciones y las ajenas.

Asimismo, retomamos elementos del modelo de enseñanza y aprendizaje basado en PSC, de Sadler et al. (2017), que sugiere que los estudiantes se encuentren con el PSC al inicio de la experiencia y comiencen a tomar conciencia de los aspectos polémicos y actores involucrados. Posteriormente,

propone que se aborden conceptos científicos y se exploren los componentes sociales que subyacen al PSC. Finalmente, se invita a los estudiantes a sintetizar las ideas claves del PSC y a posicionarse a través de la reflexión.

Las cinco unidades didácticas que componen la secuencia incluyeron actividades diseñadas para apoyar a los estudiantes en la reflexión y el razonamiento científico, de manera que puedan profundizar en las implicaciones ambientales del FF al argumentar frente al PSC al final de la secuencia (Figura 1).

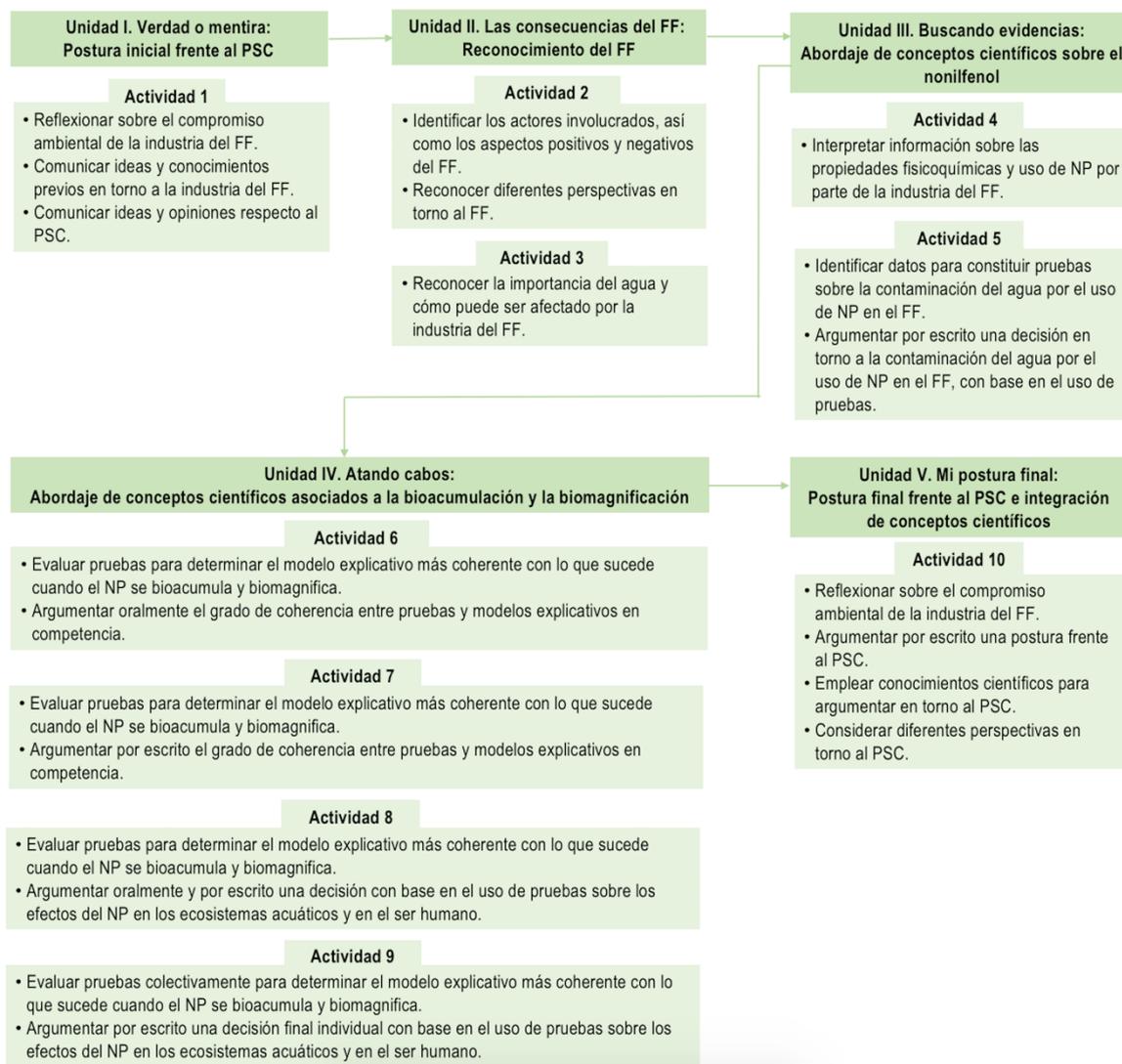


Figura 1. Unidades de la secuencia didáctica, sus actividades y objetivos didácticos

Participantes y contexto

La propuesta fue elaborada para un grupo de 26 estudiantes de bachillerato que cursaban una asignatura relativa a la ecología en una escuela privada ubicada en Yucatán, México. La secuencia constó de cinco unidades didácticas que incluyeron diez actividades, distribuidas en 12 sesiones de clases de 50 minutos cada una. Las actividades fueron realizadas de manera individual, en parejas y en grupos de cuatro personas.

Consideramos que abordar un PSC sobre el FF desde la problemática de la contaminación del agua, atendiendo a los conceptos de bioacumulación y biomagnificación, permitiría a los estudiantes integrar conocimientos previos sobre cadenas tróficas y propiedades fisicoquímicas, contenidos abordados por los estudiantes en cursos anteriores. Por otro lado, vincularlos con el uso de sustancias químicas podría ayudarlos a comprender las implicaciones ambientales y en el ser humano, así como a considerar aspectos éticos que derivan de la producción y el consumo excesivo de prendas.

Análisis de las producciones escritas

En esta comunicación se presentan resultados relevantes que derivaron de las actividades en donde se produjeron argumentos escritos, mismos que constituyeron el corpus de datos a procesar. Estos se trataron considerando el análisis de contenido de Bardin (2002), lo que implicó una revisión reiterada de los datos y de referentes teóricos (Frey et al. 2015; Toulmin, 1958). Esto permitió identificar niveles de desarrollo argumentativo que reflejaron cómo los estudiantes construyeron argumentos a través de la evaluación de pruebas.

El nivel más básico es cuando solamente se señalan efectos ambientales; en el segundo nivel se establece una secuencia causal o explicativa mediante relaciones lógicas para dar cuenta de los efectos ambientales del NP; y en el nivel argumentativo más complejo, se emplean enunciados generalizados y organizados para explicar daños ambientales, desde una perspectiva ecológica. En este nivel se pueden llegar a emplear nociones científicas apropiadas. En todos los casos, se puede articular la perspectiva ambiental con otras, como la social y la ética.

Los resultados presentados ofrecen una visión general del funcionamiento de la secuencia didáctica en la movilización del conocimiento científico mediante la argumentación frente a un PSC.

Descripción de las unidades y resultados relevantes

Unidad 1. Verdad o mentira

La primera unidad se propuso para contextualizar el contenido científico y vincularlo con experiencias e intereses de los estudiantes, a través del análisis de un PSC focal contextualizado que les permita expresar sus ideas y conocimientos previos sobre el FF.

De acuerdo con Sadler et al. (2017), idealmente se debe presentar el PSC al inicio de la secuencia para promover el involucramiento de los estudiantes a través del análisis de situaciones concretas, relevantes e interesantes para ellos. Esto les permitiría comenzar a tomar conciencia de la problemática y tener un punto de referencia que posibilitaría explicitar sus ideas previas. Por otro lado, el PSC puede ser local o global, real o ficticio (pero potencialmente real) (Simonneaux, 2007), e idealmente debe presentar diferentes partes involucradas con diferentes perspectivas e intereses. Por ello, se sugiere situar el PSC en contextos específicos, por ejemplo, una empresa, un pueblo o una escuela; animando así a los estudiantes a tomar una postura frente a él. Además, una controversia focal debe incluir componentes tanto sociales como científicos y admitir diversas posturas (Sadler et al., 2017).

Considerando lo anterior, la primera actividad (Figura 1) buscó poner en el centro las ideas de los estudiantes en torno al FF. Para ello, fue necesario centrarla en una controversia focal con la finalidad de llamar la atención en un aspecto particular que se vinculó con el contenido científico a abordar en la secuencia.

En esta propuesta, el PSC se presentó a través de un relato contextualizado en la institución educativa a la que pertenecían los estudiantes, que presentó el uso de sustancias químicas durante la producción de ropa por parte de empresas de la industria FF. Los puntos de vista opuestos, de acuerdo con el relato, son sostenidos por las empresas y un grupo ambiental (acceso en: relato). El relato fue expuesto en plenaria mediante diapositivas.

Siguiendo a Zeidler y Khan (2014), al final del relato se introdujo una pregunta polémica que tuvo como propósito cuestionar el conocimiento común de los estudiantes. La pregunta se presentó a través de la declaración: Las marcas de ropa de la industria del fast fashion, afirman cumplir con su responsabilidad ambiental y comercializar productos amigables con el ambiente. ¿Crees que esto es verdad o mentira? Posteriormente, se les solicitó tomar postura individualmente y justificarla por escrito. Esto daría cuenta de sus opiniones frente a la problemática y del tipo de explicaciones que dan sin haber visto aún información científica. Esta respuesta permitiría identificar cómo justifican su postura inicial.

Para apoyar la argumentación escrita se adaptó el andamio basado en el desarrollo de estrategias reguladas de Ripoll et al. (2013), una estrategia utilizada para mejorar la redacción de textos argumentativos frente a dilemas y que permite que los estudiantes planeen, organicen y revisen sus producciones escritas. En esta actividad, los estudiantes pueden comenzar a organizar sus ideas en función de la postura que pretendan defender y elaborar un plan de lo que van a escribir. De esta forma, justificarían su postura empleando opiniones y creencias personales, sin distinguir aún los componentes de un argumento (Tabla 1). Identificar las razones que sustentan su postura, permitiría a los estudiantes comenzar a tomar conciencia de la necesidad de sostener una afirmación con razones.

Tabla 1. Ejemplo del uso del andamio de Ripoll et al. (2013) de una estudiante (A1-2), para tomar y justificar la primera postura frente al PSC

Asunto. ¿Cuál es el tema y qué opino de él?	Razones. Da dos razones de por qué opinas eso	Conclusión. Escribe una conclusión para responder a la pregunta ¿Crees que las marcas de ropa <i>fast fashion</i> cumplen con su responsabilidad ambiental? Explicita si crees que es verdad o mentira lo declarado por las marcas de ropa y justifica el porqué de tu decisión
El tema es: El fast fashion y la industria de la moda en general Mi opinión es: Esta moda hace un daño gigantesco a los recursos naturales	Las cantidades masivas de recursos como agua son usados para hacer ropa Las empresas solo quieren ganar dinero	Mentira, ya que el mundo siempre ha sido controlado por grandes empresas y para ellos es fácil pagar millones para esconder lo que realmente se pierde en el proceso y cómo son sus fábricas en realidad

Resultados de la unidad 1

En la implementación de esta actividad, la mayoría de los estudiantes rechazó la afirmación hecha por las marcas de ropa, aunque las justificaciones fueron diversas. Sólo un estudiante adoptó una postura neutral, al señalar que la responsabilidad ambiental depende de cada marca, sugiriendo la necesidad de contar con más información para emitir un juicio.

En general, un amplio porcentaje del estudiantado (85%) demostró una comprensión amplia del modelo FF, considerando no solo implicaciones ambientales, sino también aspectos como las injusticias laborales, los intereses económicos de las marcas y el rol del consumidor en el modelo FF. Cuatro estudiantes (15%) se limitaron a mencionar aspectos sociales, económicos y éticos, sin considerar los ambientales.

Con respecto al nivel de desarrollo argumentativo, nueve estudiantes (35%) lograron construir secuencias causales o explicativas mediante relaciones lógicas para explicar los efectos del NP, articulando además su razonamiento con otras perspectivas además de la ambiental. Por su parte, la mitad del grupo (50%) presentó justificaciones con un enfoque reduccionista centrado exclusivamente en los efectos ambientales, sin identificar claramente las relaciones causa-efecto subyacentes ni considerar la complejidad multicausal del problema (Tabla 1). En este sentido, Bravo y Jiménez-Aleixandre (2017) señalan que los estudiantes suelen presentar dificultades para movilizar conocimientos científicos adecuadamente en contextos argumentativos, por ejemplo, sus explicaciones carecen de articulación causal. Esto refleja una comprensión limitada o desarticulada.

Unidad 2. Las consecuencias del fast fashion

El objetivo de esta unidad fue apoyar a los estudiantes en el reconocimiento de la complejidad y la toma de perspectiva sobre la industria FF. Así, la problemática se abordó desde las implicaciones ambientales del FF sobre el agua para comenzar a reconocer la importancia de este recurso y cómo puede ser afectado por las prácticas de esta industria.

La actividad 2 (Figura 1) comenzó proyectando en plenaria un breve video que explica cómo funciona el modelo de negocio del FF desde una perspectiva económica y social (acceso en: video 1). Al término del video, orientados por la docente, los estudiantes discutieron sobre lo que es el FF y las implicaciones inherentes al modelo de negocio desde dichas perspectivas. Esta discusión tuvo como objetivo discutir las implicaciones positivas y negativas del FF. Es importante destacar que el FF no sólo tiene efectos negativos, sino también positivos, como la generación de empleos y la asequibilidad económica para los consumidores (Garg, 2020). En este sentido, la guía docente fue fundamental para ayudar a los estudiantes a identificar aspectos positivos quizás no tan evidentes para los estudiantes. Así, la docente pudo mediar la discusión a través de preguntas como: ¿consideran que el FF es un problema en la actualidad?, ¿por qué?, ¿a quiénes afecta y a quiénes beneficia el FF?

Posteriormente, se presentó otro video que aborda la problemática desde una perspectiva ambiental (acceso en: video 2). Nuevamente, se instó a discutir en plenaria las ideas de los estudiantes, pero esta vez sobre las afectaciones ambientales del FF. La intención fue que los estudiantes identificaran otros impactos ambientales del FF más allá de los evidentes (generación de residuos sólidos, gasto de agua) que pudieron haber señalado en la actividad 1. La docente guió la discusión a través de preguntas como ¿qué implicaciones en el ambiente tiene la industria FF?, ¿sería posible reducir el impacto ambiental del FF?, ¿cómo? En sus intervenciones, la docente enfatizó en la contaminación del agua por el uso de sustancias químicas, mediante preguntas como: ¿cómo afecta el FF al recurso agua?

Discutida la problemática, se les solicitó a los estudiantes que, individualmente y mediante un cuadro comparativo, identificaran las implicaciones positivas y negativas del FF desde la perspectiva ambiental, económica y social (Tabla 2).

Tabla 2. Ejemplo del cuadro comparativo completado por un estudiante (A2-3), para apoyar el reconocimiento de la complejidad de la problemática

Problemática	Implicaciones positivas del FF	Implicaciones negativas del FF
Medio ambiente	Como ciertas prendas se pueden hacer con plásticos, se pueden usar los desechos plásticos para hacer la ropa, así reciclándolos y evitando que acabe en los océanos	Su creación ocupa cantidades abismales de agua, desde los tintes y químicos utilizados hasta su uso para el crecimiento del algodón para su creación
Economía	Provee a los trabajadores con un salario extremadamente bajo, pero les da una fuente de ingreso	Crea pequeñas industrias que pueden servir como base para una industrialización más avanzada
Sociedad	Los consumidores pueden acceder a ropa barata	Somete a sus trabajadores a situaciones infrahumanas básicamente teniéndolos como esclavos

A continuación, completaron una tabla en donde tenían que identificar a los actores involucrados, así como sus intereses (Tabla 3). Así, la intención fue que los estudiantes comenzaran a reconocer los intereses de cada actor y a advertir que tomar una postura o plantear soluciones requiere sopesar diferentes perspectivas.

Tabla 3. Ejemplo de la tabla completada por un estudiante (A2-3), para apoyar la toma de perspectiva en torno a la problemática

Actores involucrados	Intereses
Fabricantes	Generar más dinero a costa del ambiente y de los derechos de trabajadores Engañar a la gente para que crean que son proambientales y les compren
Trabajadores	Tener ingresos aún en condiciones malas
Consumidores	Comprar más ropa con menos dinero Estar a la moda
Ambientalistas	Cuidar el ambiente, evitar contaminación por varias fuentes

Por otro lado, en la actividad 3 (Figura 1) se les propuso a los estudiantes que individualmente leyeran un texto sobre la importancia del agua como recurso vital (acceso en: lectura 1), con la intención de alentarlos a reflexionar sobre la relevancia del cuidado del agua y vincularlo con la contaminación por el FF. Esto permitiría valorar el agua en el marco de una problemática con múltiples implicaciones.

Resultados de la unidad 2

En esta unidad los estudiantes argumentaron en forma oral en plenaria. Tras el desarrollo de la actividad 2 la mayoría de los estudiantes logró identificar nuevas perspectivas que no habían considerado en la actividad anterior. Por ejemplo, algunos que en la actividad 1 se centraron únicamente en la dimensión ambiental, en esta ocasión incorporaron también aspectos sociales. Asimismo, pudieron reconocer implicaciones positivas del FF que no habían sido abordadas previamente; entre ellas, el hecho de que el FF genera empleos, aunque este reconocimiento estuvo acompañado del señalamiento de condiciones laborales precarias (Tabla 2).

Además, la actividad permitió un mayor reconocimiento de los actores involucrados y sus intereses. En algunos casos, los estudiantes identificaron al consumidor como parte del modelo de negocio del FF, reconociéndolo como un actor relevante cuyos intereses no habían sido contemplados en la actividad 1.

Unidad 3. Buscando evidencias

Una vez asociada la problemática del FF a la contaminación del agua por el uso de químicos, la tercera unidad se planteó para comenzar a introducir conocimientos científicos. A través de la valoración de información y la interpretación de datos, se planteó que los estudiantes organizaran sus ideas para elaborar un argumento científico sobre el uso de NPE y su subproducto, el NP, en la industria FF. Así, la actividad 4 (Figura 1) se propuso para que los estudiantes comenzaran a identificar datos científicos desde la perspectiva ambiental para constituir pruebas.

Para apoyar a los estudiantes en la construcción de argumentos científicos, en la actividad 4 se les presentaron, en plenaria y mediante diapositivas, las declaraciones de dos partes involucradas en el PSC: ambientalistas y fabricantes (acceso en: ambientalistas vs. fabricantes). Los argumentos se leyeron y se discutieron en plenaria. Ello permitió que los estudiantes nuevamente consideraran diferentes perspectivas y se cuestionaran en qué medida y cómo se utiliza el NPE y el NP en la industria FF, y si realmente representan una fuente de contaminación del agua. En seguida, se les presentaron dos opciones, de las cuales tuvieron que elegir una, encerrándola en un círculo (Figura 2).

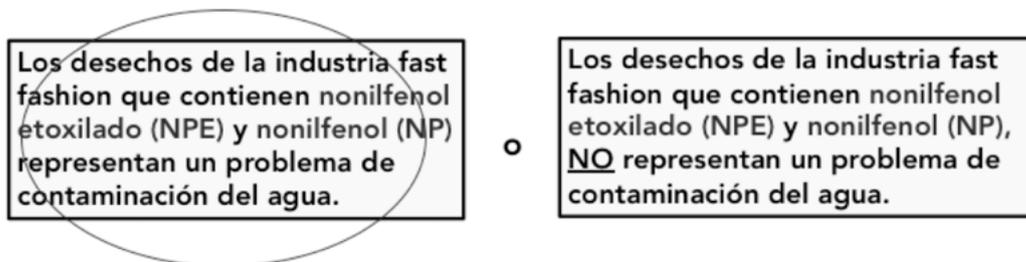


Figura 2. Ejemplo de elección de un estudiante (A4-3) entre dos afirmaciones en torno al uso del NPE y el NP en la industria FF

Para apoyar a los estudiantes en su elección, se les solicitó que, en parejas, leyeran un texto breve sobre las propiedades fisicoquímicas del NPE y NP, y su uso en la industria FF. A su término, los estudiantes respondieron a unas preguntas relativas a la lectura (acceso en: lectura 2). Así, se esperaba que en la actividad 5 (Figura 1), los estudiantes identificaran datos de la lectura para argumentar individualmente la opción elegida completando el andamio CER, Claim Reasoning Evidence (Afirmación Razonamiento Evidencia) de Osborne et al. (2017), el cual se adaptó para apoyar la argumentación científica. Este recurso retoma los tres elementos básicos del argumento de Toulmin (1958), de manera que invita a los estudiantes a identificar una conclusión, pensar sobre las pruebas que la apoyan y determinar la razón que vincula la conclusión con dichas pruebas. Así, este apoyo permitió a los estudiantes identificar datos que consideraron relevantes para constituirlos como pruebas y respaldar su elección, además de explicar cómo estas apoyaron la opción elegida (Tabla 4).

Tabla 4. Ejemplos del andamio completado por dos estudiantes: A (A5-11) y B (A5-14), para sustentar la opción elegida en torno al uso de NPE y NP en el FF, y su posible implicación en la contaminación del agua

Estudiante	Prueba. Las pruebas o datos que apoyan la afirmación que elegí, son:	Razonamiento. Estas pruebas apoyan la afirmación que elegí, porque:
A	El NP, debido a que es altamente lipofílico, tiende a adsorberse en sedimento. La vida media del NP en agua es de 210 días y en sedimento 440 días. En Europa se declaró que la máxima concentración de NP permisible en agua es de 2 µg/L. Aún así, muchos países no cumplen con esta regla.	El NP se queda sobre todo en sedimento porque ahí casi no hay oxígeno, pues está a mayor profundidad, donde no hay luz y sin luz no hay fotosíntesis y sin fotosíntesis, no hay oxígeno. El NP dura más de 6 meses en agua y aún más en sedimento y eso hace que se quede en el ambiente
B	En Europa se declaró que la máxima concentración de NP permisible en agua es de 2 µg/L Para producir ropa más barata, los grandes corporativos, deslocalizan la producción a países donde la mano de obra es más barata y tiene una deficiente legislación medioambiental	Se siguen usando químicos en muchos países con pocos recursos

Resultados de la unidad 3

Algunos estudiantes lograron establecer un razonamiento más elaborado al conectar lógicamente las pruebas con su elección. Tres de ellos (12%) ofrecieron justificaciones mediante enunciados generalizados y organizados, empleando nociones científicas como la fotosíntesis (Tabla 4, A). En estos casos, la lectura resultó un recurso clave, de acuerdo con Jiménez-Aleixandre y Erduran (2007), quienes destacan la dificultad de movilizar conocimiento científico para justificar afirmaciones.

Por otro lado, el 31% de los estudiantes usaron relaciones lógicas sin incorporar ideas científicas que sustentaran sus explicaciones, lo que refleja una comprensión limitada o desarticulada. Además, varios estudiantes tuvieron dificultades para identificar información relevante de la lectura. El 27% mencionó términos científicos, pero sin elaborarlos, y el 31% no logró establecer una relación clara entre las pruebas y sus conclusiones (Tabla 4, B), lo cual coincide con lo reportado por Bravo y Jiménez-Aleixandre (2017), quienes señalan que es común que los estudiantes no expliquen cómo una prueba apoya una postura.

Unidad 4. Atando cabos

La unidad se planteó para involucrar a los estudiantes en la argumentación científica a través de la evaluación de pruebas con sus pares. Además, se buscó avanzar en la comprensión de conceptos científicos en torno a la bioacumulación y biomagnificación, para reconocer algunas implicaciones ambientales de la industria FF por el uso de nonilfenoles.

El diálogo argumentativo se puede enriquecer si se sitúa en contextos particulares, como la evaluación de pruebas, una práctica que abona al desarrollo del razonamiento científico. Por ello, resulta pertinente involucrar a los estudiantes en tareas como la coordinación de pruebas con la teoría, la elección de pruebas relevantes para apoyar o rechazar una afirmación, o la elección de modelos explicativos de un fenómeno (Bravo et al., 2009). Se trata de generar espacios donde los estudiantes recuperen y apliquen conocimientos para realizar tareas específicas sobre el uso de pruebas a través de la argumentación (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2014).

Así, esta unidad buscó apoyar a los estudiantes en la construcción de argumentos científicos mediante la evaluación de pruebas desde un contexto teórico (Jiménez Aleixandre, 2010) para explicar cómo contamina el NP. Para ello, al inicio de la unidad (Figura 1), se proyectó en plenaria, mediante una diapositiva la pregunta: ¿Consideran que el nonilfenol (NP) que se encuentra en el

agua tiene efectos en los ecosistemas acuáticos y en el ser humano? Consideramos que, la comprensión de cómo se bioacumula y biomagnifica el NP en un ecosistema acuático, facilitaría que los estudiantes enriquecieran su argumentación frente al PSC al final de la secuencia. Por lo tanto, la unidad les demandó recuperar conocimientos abordados en las actividades de la unidad previa y sobre las cadenas tróficas, tema fundamental para apoyar el razonamiento científico en esta actividad. Los estudiantes participantes en esta secuencia habían abordado dicho contenido en el curso anterior.

Para reforzar este conocimiento, antes de iniciar la actividad, se realizó un breve repaso sobre este contenido mediante una lectura individual (acceso en: lectura 3) y su discusión en plenaria, a través de preguntas abiertas realizadas por la docente, como: ¿cómo y por qué es necesaria la transferencia de energía entre los niveles tróficos?, ¿quién tiene más necesidades energéticas, un productor o un depredador tope, por qué? Así, los estudiantes pudieron consultar esta lectura y las previas para apoyarse durante esta unidad.

Para dar respuesta a la pregunta sobre el riesgo que representa el NP en los sistemas acuáticos y en el ser humano, las actividades de esta unidad se enmarcaron en el andamio MEL, Model-Evidence-Link (Enlace Modelo-Evidencia), adaptado de Rinehart et al. (2014). Esta herramienta apoyó a los estudiantes en la evaluación crítica de modelos científicos a la luz de diferentes pruebas. El propósito central de esta herramienta fue facilitar la coordinación entre modelos alternativos y las pruebas científicas disponibles, promoviendo la argumentación basada en pruebas.

Este recurso permitió que los estudiantes se involucraran en la evaluación de dos modelos para decidir cuál es el más congruente con las pruebas presentadas durante la actividad. Así, el andamio se empleó como contexto para involucrar a los estudiantes en la interacción dialógica con sus pares mediante el uso de pruebas.

En la unidad se presentaron dos escenarios, representados a través de modelos en competencia (A y B), que pretenden explicar lo que sucede una vez que el NP ingresa a un sistema acuático y cómo ello incide en los seres vivos que lo habitan y en el ser humano (Figura 3). En este caso, el modelo A es la representación más coherente con los fenómenos de bioacumulación y biomagnificación, a la luz de las pruebas presentadas a lo largo de la actividad.

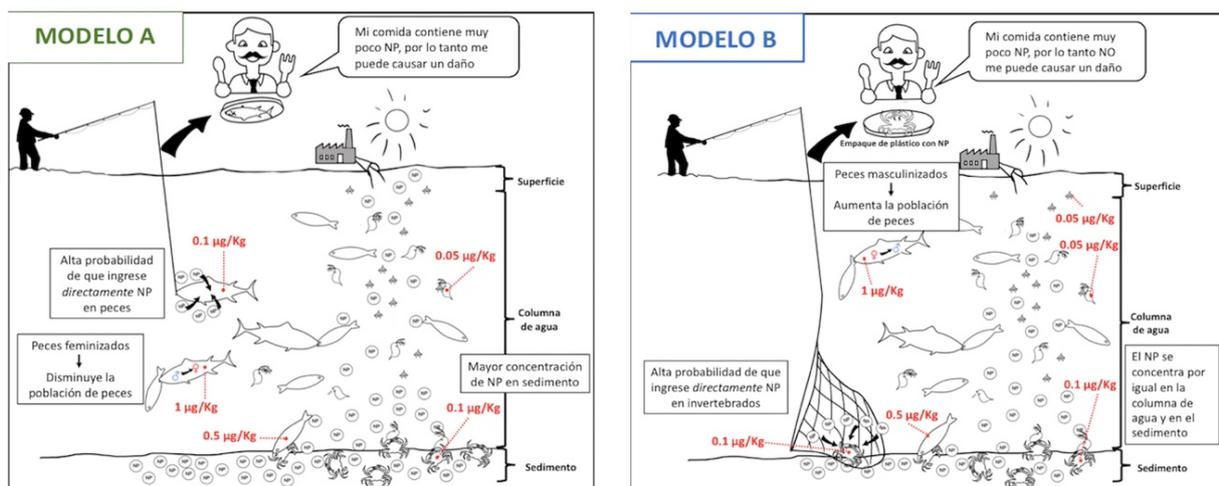


Figura 3. Modelos explicativos en competencia. Elaboración propia

Los modelos se leen en el sentido de las manecillas del reloj, comenzando por la fábrica arrojando NP al medio acuático (en color gris) (Figura 3). Ambos modelos pueden tener algún grado de

sustento en las pruebas, pero uno de ellos (en este caso, el modelo A) puede estar mejor apoyado o ser más consistente con un mayor número de pruebas. De acuerdo a Rinehart et al. (2014), este ejercicio no busca una respuesta única o correcta, sino entrenar el juicio científico y la argumentación evaluativa.

Aunque los modelos son muy similares en cuanto a la información que representan, difieren en aspectos clave: profundidad en donde se concentra mayor cantidad de NP, la concentración de NP en los organismos, la probabilidad de ingreso de NP en diferentes organismos, los efectos hormonales del NP en los peces y el daño potencial al ser humano tras ingerir alimentos contaminados con NP. Esta diferenciación promueve que los estudiantes identifiquen diferencias sutiles en sus supuestos. Además, evita tomar decisiones por intuición superficial, lo que exige un mayor esfuerzo cognitivo (Rinehart et al. 2014).

Para identificar el modelo más coherente, los estudiantes tuvieron que evaluar pruebas científicas (acceso en: pruebas). Así, cada una de ellas la relacionaron con cada modelo, en función del grado de apoyo a éstos (Figura 4), mediante el uso de flechas (Figura 5).

EVIDENCIA 3

Al ingreso y acumulación de un contaminante en un organismo desde cualquier fuente de exposición (aire, agua y alimento), se le llama bioacumulación.

El NP ingresa directamente en un organismo unicelular (microalgas) a través de su membrana celular. En animales, puede ingresar a través de tres vías: por vía dérmica, por vía respiratoria o por ingestiva.

Las sustancias químicas lipofílicas pueden atravesar fácilmente las membranas biológicas de los seres vivos, acumulándose más fácilmente en tejido adiposo (lípidos).

EVIDENCIA 4

Al incremento de la concentración de un contaminante de un nivel trófico a otro, de tal forma que la concentración del contaminante aumenta conforme se asciende en la cadena trófica, se le llama biomagnificación.

8. Posteriormente, responde a las siguientes preguntas:

- Qué flecha has dibujado entre la Evidencia 4 y el modelo A? Dibuja la flecha aquí
- Escribe las razones de tu elección de flecha

En el modelo A, se puede observar que la concentración de NP en uno de los peces es el mismo que hay en los invertebrados que están en el sedimento, los cuales están más abajo en la cadena trófica, por lo que resultaría contradictorio a la idea de biomagnificación.

- Qué flecha has dibujado entre la Evidencia 4 y el modelo B? Dibuja la flecha aquí
- Escribe las razones de tu elección de flecha

En el modelo B, se puede observar que la concentración de NP es mayor en los peces que en invertebrados y microalgas por lo que, entre mayor nivel en la cadena trófica, mayor el nivel de contaminación.

Figura 4. Izquierda: Ejemplo de la elección del grado de congruencia (flechas) entre la prueba y los modelos alternativos de un estudiante (A6-19), después de evaluar la prueba con su par. Derecha: Ejemplo de la evaluación individual de una prueba, se incluye la justificación de la elección del grado de congruencia (flechas) entre la prueba y los modelos.

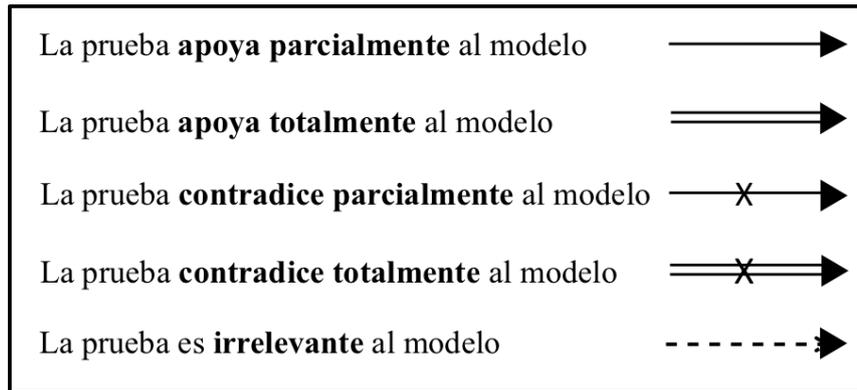


Figura 5. Flechas utilizadas para determinar el grado de relación de las pruebas con cada modelo

Durante las actividades de la unidad (Figura 1), los estudiantes evaluaron pruebas en parejas, individualmente y en equipos de cuatro integrantes. Esto con la intención de favorecer la articulación de la reflexión personal con la construcción colectiva del conocimiento, mediante la práctica reiterada de la argumentación. El diálogo con los pares favoreció la activación y enriquecimiento de ideas, mientras que el trabajo individual permitió reorganizar el pensamiento y consolidar una postura propia.

Durante las discusiones con sus pares, se animó a los estudiantes a argumentar la razón por la que eligieron cierta flecha para vincular una prueba con cada modelo. Tras el intercambio de ideas, los estudiantes podían cambiar de opinión, es decir, modificar la flecha utilizada originalmente (Tabla 5).

Tabla 5. Pasos para tomar una decisión sobre las implicaciones del NP en el ambiente y en el humano a partir de la determinación del modelo más congruente con las pruebas

Actividad	Pasos para tomar una decisión sobre las implicaciones del NP en el ambiente y en el humano	Modalidad	Formato de la argumentación
6	Evaluación de pruebas 1, 2, 3	Parejas	Oral
7	Evaluación de tres pruebas 4, 5, 6	Individual	Escrito
	Evaluación de las seis pruebas	Parejas	Oral
8	Elección preliminar del modelo más congruente con las pruebas	Individual	Escrito
	Discusión sobre elección de modelo	Equipo	Oral
9	Evaluación de la prueba 7 (prueba concluyente)	Equipo	Oral
	Decisión final	Individual	Escrito

Durante las actividades de la unidad, los estudiantes tuvieron varias oportunidades de evaluar pruebas y discutir sus elecciones para, finalmente, decidir si el NP representa un peligro para el ambiente acuático y el ser humano (Figura 1). Para ello, los estudiantes justificaron individualmente su decisión (conclusión) mediante la identificación de las pruebas que mejor la apoyen a través del andamio CER. Este les ayudó a estructurar su argumento al demandarles explicitar, a través del razonamiento, cómo las pruebas que seleccionaron apoyaron su conclusión (Tabla 6).

Tabla 6. Ejemplo del andamio completado por dos estudiantes: A (A7-3) y B (A7-6) para sustentar la opción elegida en torno al posible peligro que representa el NP para el ambiente y para el ser humano.

Estudiante	Conclusión. Yo considero que el nonilfenol	Prueba. Pruebas que apoyan mi decisión, son...	Razonamiento. Estas pruebas apoyan mi decisión porque...
A	Si presenta un peligro ambiental y para el ser humano	El NP puede causar abortos y mutaciones en mujeres en concentraciones desde 0.49 µg/kg. En hombres puede causar daños en las células de Sertoli y Leydig desde 50 µg/kg El NP se acumula más en seres con mayor tejido adiposo El NP imita a los estrógenos en vertebrados machos y altera su reproducción	El NP se acumula en el tejido graso los animales que el ser humano más consume. También incrementa su cantidad a través de la cadena trófica cuando un animal se come a otro. Así es como llega al humano, causándole daños a su salud También afecta la reproducción de especies, lo cual afecta al ecosistema porque pierde su equilibrio al haber más machos que hembras
B		El NP causa daños a mujeres (abortos y mutaciones). En hombres daña sus células de Sertoli y Leydig El NP atraviesa membranas biológicas y más fácil en animales con tejido adiposo El NP se acumula de un nivel trófico a otro, del menor al mayor	Nosotros nos alimentamos de peces que son portadores de NP y que a su vez comieron otros animales con el químico, entrando en nuestro sistema y afectándonos de diversas maneras

Resultados de la unidad 4

La unidad promovió el desarrollo de la autonomía, favoreciendo la evaluación y reformulación de ideas en un ambiente colaborativo. La docente desempeñó un rol facilitador guiando la identificación de información relevante y estimulando el debate. Además, impulsó el uso del lenguaje científico, la construcción de consensos y la argumentación persuasiva, elementos clave para la formación en una cultura científica (Jiménez- Aleixandre, 1998). Así, esta dinámica fomentó un compromiso sostenido del alumnado, centrado en la evaluación continua de pruebas para fortalecer sus habilidades argumentativas.

Respecto a los argumentos de los estudiantes, se observó una ligera mejora en poco más de la mitad del grupo, particularmente al explicar cómo las pruebas respaldaban sus conclusiones: Cinco estudiantes (19%) elaboraron explicaciones más completas mediante enunciados generalizados y organizados, movilizandoo nociones relacionadas con la transferencia de energía y el desequilibrio ecológico (Tabla 6, A). Las discusiones contribuyeron a clarificar conceptos como cadenas tróficas y propiedades del NP, lo que facilitó una mejor comprensión de la bioacumulación y la biomagnificación.

Por otro lado, el 27% de los estudiantes utilizaron relaciones lógicas para establecer una causalidad, pero sin recurrir a conceptos científicos (Tabla 6, B). La mayoría (31%) logró vincular evidencias con conclusiones, aunque de forma limitada, al centrarse en efectos ambientales sin mayor elaboración. Finalmente, seis estudiantes (23%) no establecieron relaciones coherentes entre las pruebas y sus conclusiones.

Unidad 5. Mi postura final

La última unidad se planteó para que los estudiantes pudieran nuevamente tomar una postura frente al PSC inicial y argumentarla. La intención era que volvieran a reflexionar sobre el compromiso ambiental del FF, esta vez considerando diversas perspectivas y apoyándose en información científica recuperada de las actividades previas.

La actividad 10 (Figura 1) comenzó con la lectura, en plenaria, del relato con el que se presentó el PSC al inicio de la secuencia (acceso en: relato). Después, se les solicitó que de manera individual respondieran a la pregunta controversial respecto a la credibilidad de la responsabilidad ambiental de las marcas de FF, mediante la elaboración de un texto argumentativo. Considerando la sugerencia de Zeidler (2015), se planteó un escenario en el que los estudiantes tomaron el rol de delegado/a de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en temas ambientales, por lo que parte de su trabajo sería comunicar a través de una carta dirigida a los representantes de la industria del FF, su postura respecto a la responsabilidad ambiental que declaran. Así, su carta tendría que plantear a la industria del FF que su postura está fundamentada.

A continuación, se presenta parte del texto argumentativo de un estudiante (A10-11): «El NP contamina el sistema acuático en todas sus profundidades, concentrándose mayormente a más profundidad (sedimento), donde hay poco oxígeno. Ahí permanece más de 6 meses, pues a esa profundidad las bacterias no lo degradan, lo que lo hace un contaminante persistente [...]. Les pido cooperación y autocritica, son responsables de una industria muy popular, la cual tiene un impacto gigante en la sociedad y también en el ambiente. El daño lo están creando ahora, pero el impacto lo recibirán las futuras generaciones, no hay que ser egoístas ni tener un pensamiento a corto plazo».

Si bien la actividad sirvió para integrar nociones científicas y consideraciones de múltiples perspectivas, los estudiantes tuvieron el desafío de articular su argumento en función de ello. La tarea demandó elaborar un texto argumentativo en prosa con formato de carta.

Resultados de la unidad 5

Al igual que en la actividad 1, el 85% de los estudiantes integró múltiples perspectivas en sus argumentos, incluyendo dimensiones no abordadas previamente, como el cambio de patrones de consumo personal y la necesidad de restaurar el daño ambiental provocado por la industria del FF. Así, el desarrollo del pensamiento crítico se vincula con la capacidad de los estudiantes para ampliar sus marcos explicativos e integrar perspectivas inicialmente ausentes en su razonamiento, producto de la interacción social y la reflexión situada (Jiménez-Alexandre y Puig, 2022).

También se observó una mejora en el nivel argumentativo. Del total de estudiantes, cuatro (15%) redactaron textos con mayor sofisticación, articulando diversas perspectivas y apoyándose en nociones científicas como la transferencia de energía en cadenas tróficas y la fotosíntesis. Otro 4% ofreció explicaciones con similar nivel de profundidad, aunque centradas sólo en la perspectiva ambiental.

El 42% del grupo logró establecer relaciones causales o explicativas mediante relaciones lógicas, articulando los efectos ambientales del NP con implicaciones sociales y éticas. Un 4% adicional construyó explicaciones lógicas, pero desde un enfoque exclusivamente ambiental.

El resto del grupo presentó argumentos menos elaborados. El 27% identificó algunos efectos ambientales sin establecer relaciones causales ni integrar otras perspectivas. Finalmente, dos estudiantes (8%) se limitaron a reproducir textualmente la información de la secuencia, sin dar más explicación.

Consideraciones finales e implicaciones educativas

Los resultados de esta experiencia evidencian que el uso de un PSC en torno al FF y su vínculo con la contaminación del agua puede constituirse en un contexto ideal para promover la práctica argumentativa en el aula de ciencias. A lo largo de las cinco unidades de la secuencia, se observa-

ron avances en el pensamiento crítico de los estudiantes, especialmente en su capacidad para integrar perspectivas, movilizar conocimientos científicos y evaluar pruebas al tomar una postura fundamentada (Bravo y Jiménez-Aleixandre, 2017; Cañero-Arias et al., 2024).

Esta propuesta subraya la importancia de concebir la argumentación como una práctica epistémica que requiere análisis crítico, deliberación y toma de decisiones informadas (Jiménez-Aleixandre y Erduran, 2007). Para ello, resultan útiles andamios como el CER y el MEL que apoyan la organización y evaluación de pruebas, y promueven la construcción progresiva de argumentos complejos.

La integración de contenidos científicos previamente abordados (como cadenas tróficas) contribuyó a contextualizar el aprendizaje y a vincularlo con situaciones de relevancia social, lo que refuerza su apropiación crítica (Jiménez-Aleixandre, 2010). Asimismo, el trabajo en distintos formatos (individual, parejas y equipos) potenció la toma de conciencia, el contraste de ideas y el desarrollo de argumentos (Bravo y Jiménez-Aleixandre, 2014; Driver et al., 2000).

Esta experiencia muestra que la reiteración de tareas argumentativas en torno a un PSC puede favorecer la profundización del razonamiento. Por tanto, se sugiere diseñar secuencias que aborden un mismo problema desde distintas perspectivas: ambiental, social, ética, entre otras (Sadler et al., 2007; Zeidler, 2015). Asumir roles sociales, analizar intereses contrapuestos y reflexionar sobre el consumo permitió a los estudiantes ejercer un pensamiento crítico orientado a la sostenibilidad y a la participación ciudadana informada (Franco-Mariscal et al., 2024; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2022).

Así, esta propuesta aporta evidencias sobre el valor didáctico de integrar PSC ambientales en la enseñanza de las ciencias, tanto para fortalecer habilidades argumentativas como para formar sujetos críticos. No obstante, este estudio presenta limitaciones: se desarrolló con un único grupo en un contexto específico, por lo que no se pueden generalizar los resultados; además, se centró en producciones escritas.

En México, los estudios que han implementado PSC en temas ambientales con estudiantes de bachillerato aún son escasos (Zenteno y Garritz, 2010). Esta propuesta ofrece una vía para su incorporación y sistematización, con potencial para ser replicada en otros contextos educativos y adaptada a nuevas realidades escolares. Finalmente, consideramos que desarrollar propuestas didácticas sobre problemáticas ambientales permite reflexionar sobre el tipo de educación científica que se requiere en la actualidad y plantear enfoques más relevantes, útiles y estimulantes para los estudiantes.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado y financiado a través de una beca doctoral de la primera autora, proporcionada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México.

Declaración de autoría

Conceptualización: L.O.M. y M.T.G.R.; metodología: L.O.M. y M.T.G.R.; validación: L.O.M. y M.T.G.R.; análisis formal: L.O.M. y M.T.G.R.; investigación: L.O.M. y M.T.G.R.; recursos: L.O.M. y M.T.G.R.; gestión de datos: L.O.M.; redacción-preparación del borrador original: L.O.M.; redacción, revisión y edición: L.O.M. y M.T.G.R.; supervisión: M.T.G.R.; administración del proyecto: L.O.M. y M.T.G.R. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Baños-González, I., Esteve-Guirao, P., Ruiz-Navarro, A., García-Fortes, M. Á. y Valverde-Pérez, M. (2024). Exploratory study on the competencies in sustainability of secondary school students facing conflicts associated with 'fast fashion'. *Education Sciences*, 14(7), 694. <https://doi.org/10.3390/educsci14070694>
- Bardin, L. (2002). *El análisis de contenido*. Ediciones Akal.
- Bravo, B., Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, 20(2), 137–142. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30020-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30020-X)
- Bravo, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 425–442. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1281>
- Bravo, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). Developing an initial learning progression for the use of evidence in decision-making contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16, 619–638. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9803-9>
- Cañero-Arias, J., Ferrer-Baldomero, A. B., Cano-Iglesias, M. J. y Franco-Mariscal, A. J. (2024). Secondary school students' argumentation on energy production and consumption. En A. J. Franco-Mariscal (Ed.), *Critical thinking in science education and teacher training. Contemporary trends and issues in science education* (Vol. 64, pp. 123–138). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78578-8_7
- Cachon, G. P. y Swinney, R. (2011). The value of fast fashion: Quick response, enhanced design, and strategic consumer behavior. *Management Science*, 57(4), 778–795. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1100.1303>
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Franco-Mariscal, A. J., Cano-Iglesias, M. J., España-Ramos, E. y Blanco-López, Á. (2024). The ENCIC-CT model for the development of critical thinking. En A. J. Franco-Mariscal (Ed.), *Critical thinking in science education and teacher training. Contemporary trends and issues in science education* (Vol. 64, pp. 3–42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78578-8_1
- Frey, B., Ellis, J., Bilgren, J., Craig, J. y Ault, M. (2015). Development of a test of scientific argumentation. *Electronic Journal of Science Education*, 19(4), 1–18.
- Garg, P. (2020). Introduction to fast fashion: Environmental concerns and sustainability measurements. En V. Shukla y N. Kumar (Eds.), *Environmental concerns and sustainable development* (pp. 409–427). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6358-0_18
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 203–216. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4126>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Graó.

- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Erduran, S. (2007). Argumentation in science education: An overview. En M. P. Jiménez-Aleixandre y S. Erduran (Eds.), *Argumentation in science education* (Vol. 35, pp. 3–27). *Science & Technology Education Library*.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_1
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2022). Educating critical citizens to face post-truth: The time is now. En B. Puig y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Critical thinking in biology and environmental education* (pp. 3–19). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_1
- Kyle, W. C. (2020). Expanding our views of science education to address sustainable development, empowerment, and social transformation. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0018-5>
- Macalalag, A. Z., Kaufmann, A. y Van Meter, B. (2024). Socioscientific issues: Promoting science teachers' pedagogy on social justice. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 6(28), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s43031-024-00118-4>
- Osborne, J., Donovan, B., Henderson, B., MacPherson, A. y Wild, A. (2017). *Arguing from evidence in middle school science*. Corwin.
- Popek, E. (2018). Environmental chemical pollutants. En E. Popek (Ed.), *Sampling and analysis of environmental chemical pollutants* (pp. 13–69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803202-2.00002-1>
- Rinehart, R., Duncan, R. y Chinn, C. (2014). Teacher's toolkit: A scaffolding suite to support evidence-based modeling and argumentation. *Science Scope*, 38(4), 70–77. https://doi.org/10.2505/4/ss14_038_04_70
- Ripoll, J., Chasco, C. y Azcárate, J. (2013). Mejora de la redacción de textos argumentativos mediante estrategias autorreguladas. *Pulso*, 36, 175–187.
- Sadler, T., Barab, S. y Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? *Research in Science Education*, 37, 371–391. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9030-9>
- Sadler, T., Foulk, J. A. y Friedrichsen, P. J. (2017). Evolution of a model for socio-scientific issue teaching and learning. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology*, 5, 75–87. <https://doi.org/10.18404/IJEMST.55999>
- Sanmartí, N. (2002). Organización y secuenciación de las actividades de enseñanza/aprendizaje. En J. L. Atienza y A. L. Martínez (Eds.), *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (pp. 169–202). Editorial Síntesis.
- Simonneaux, L. (2007). Argumentation in socio-scientific contexts. En M. P. Jiménez-Aleixandre & S. Erduran (Eds.), *Argumentation in science education* (pp. 179–199). *Science & Technology Education Library*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_9
- Soares, A., Guieysse, B., Jefferson, B., Cartmell, E. y Lester, J. (2008). Nonylphenol in the environment: A critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters. *Environment International*, 34(7), 1033–1049. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.01.004>
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press.

- Zeidler, D. (2015). Socioscientific issues. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education* (pp. 998–1003). Springer.
- Zeidler, D., Herman, B. y Sadler, T. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(11), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7>
- Zeidler, D. y Khan, S. (2014). *It's debatable*. NSTA Press.
- Zenteno-Mendoza, B. y Garritz, A. (2010). Secuencias dialógicas, la dimensión CTS y asuntos socio-científicos en la enseñanza de la química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 2–25.