



Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: un estudio de caso sobre patrimonios controversiales

Argumentation and critical thinking in STEAM education: a case study on controversial heritage

DOI: 10.7203/DCES.48.30178

Alejandro Carlos Campina López

Universidad de Huelva, alejandro.campina@ddi.uhu.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6221-347X>

Mariángeles de las Heras Pérez

Universidad de Huelva, angeles.delasheras@ddcc.uhu.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3640-8337>

Antonio Alejandro Lorca Marín

Universidad de Huelva, antonio.lorca@ddcc.uhu.es

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9727-9268>

RESUMEN: Se presenta un estudio de caso que analiza el desarrollo de habilidades argumentativas y pensamiento crítico mediante una secuencia de aprendizaje con enfoque STEAM, aplicada al río Tinto como patrimonio controversial. Este proyecto interdisciplinar, que integra Biología y Geología, Física y Química, y Geografía e Historia, busca que el alumnado aborde problemáticas ambientales, sociales y éticas relacionadas con el río. La secuencia incluye un debate estructurado en el que el alumnado, asumiendo diferentes roles, discutió sobre la conservación o restauración del río. Los resultados evidencian un avance significativo en la calidad de los argumentos, con un mayor uso de evidencia, justificación y refutación. Estos hallazgos sugieren que la contextualización de temas sociocientíficos mediante patrimonios controversiales puede favorecer el desarrollo del pensamiento crítico y contribuir a la formación de una ciudadanía informada y responsable.

PALABRAS CLAVE: STEAM, pensamiento crítico, argumentación, patrimonios controversiales, SSI

ABSTRACT: A case study is presented that analyzes the development of argumentative skills and critical thinking through a STEAM-based learning sequence, applied to the Tinto River as a controversial heritage site. The interdisciplinary project integrates Biology and Geology, Physics and Chemistry, and Geography and History, aiming for students to address environmental, social, and ethical challenges. A structured debate, in which students adopted different roles to argue for the river's conservation or restoration, revealed notable improvement in the use of evidence, justification, and rebuttal. The findings suggest that framing socio-scientific issues around controversial heritage can foster critical thinking and informed citizenship.

KEYWORDS: STEAM, critical thinking, argumentation, controversial heritage, SSI

Fecha de recepción: enero de 2025

Fecha de aceptación: julio de 2025

El estudio forma parte del proyecto de innovación docente e investigación educativa (UHU 2022/2023) “La controversia socio-científica del río Tinto como recurso para generar identidad en el alumnado: ¿preservar o restaurar?”, del I+D “Patrimonios controversiales para la formación ecosocial de la ciudadanía: un estudio sobre educación patrimonial en la enseñanza reglada (EPITEC2)” (PID2020-116662GB-I00), MICIU/AEI/10.13039/501100011033, del I+D “Conocimiento especializado en la formación del profesorado de matemáticas, ciencias experimentales y ciencias sociales (MTSK-STSK-SCTSK)” (ProyExcel_00297) de la Junta de Andalucía (2021).

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

¿Cómo preparar al alumnado para un mundo interconectado, fomentando la comprensión de diversas perspectivas, la interacción respetuosa y la acción responsable por la sostenibilidad y el bienestar colectivo? Esta cuestión aborda muchos conceptos y fue planteada por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) en el 2015. La pregunta pone de manifiesto la necesidad de pensar y actuar responsablemente hacia un bienestar colectivo sobre la base del conocimiento, las actitudes, los valores y las habilidades, incluidos el razonamiento y el pensamiento crítico (en adelante, PCrit) (Ananda et al., 2023).

En respuesta al reto planteado por la OCDE, Beniermann et al. (2021) destacan el desarrollo del pensamiento crítico como una prioridad del siglo XXI, ante el creciente desafío que representa la negación de la ciencia en la sociedad y en la educación científica. Además, la circulación de afirmaciones pseudocientíficas no contrastadas y bulos hace que el PCrit sea considerado hoy en día una de las grandes finalidades de la educación científica dirigida a la formación de ciudadanos responsables y, sin embargo, diversos factores influyen en que su práctica no esté muy extendida (Blanco-López et al., 2017). Solbes y Torres (2013) asocian estos factores a la descontextualización, a la falta de formación, a la mala utilización de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) y a una enseñanza unidireccional de la ciencia. Por ello, es necesario abordar en el aula temas socioambientales que den sentido al aprendizaje científico y que, trabajados desde el debate y la argumentación, favorezcan la reflexión ética y crítica.

1.1. El pensamiento crítico y la argumentación

“El pensamiento crítico es el juicio autorregulado y con propósito que da como resultado interpretación, análisis, evaluación e inferencia, como también la explicación de consideraciones de evidencia, conceptuales, metodológicas, criteriológicas o contextuales en las cuales se basa ese juicio” (Facione, 2007, p. 21).

Esta capacidad de pensar clara y razonablemente sobre cuestiones propias o ajenas, trasladada al ámbito educativo, implica que el alumnado investigue, evalúe, interprete y sintetice diferentes fuentes aceptables de información para educarse a sí mismo y, así, construir argumentos que le permitan resolver problemas o llegar a una conclusión en el sentido más básico (Raj et al., 2022). Además, el PCrit es una competencia clave (Ying-Yan et al., 2020) que es fundamental para el pensamiento científico ya que permite al alumnado generar, probar y evaluar afirmaciones, datos y teorías (Danchin, 2023).

Por otro lado, la argumentación en el ámbito científico es un proceso dialógico y una herramienta fundamental para la construcción de comprensiones más significativas de los conceptos abordados en el aula, además de una de las competencias que debe asumirse de manera explícita en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Ruiz Ortega et al., 2015). Supone, además, saber expresar convicciones y razonamientos con rigor y coherencia, para intentar convencer, para saber escuchar razonamientos ajenos y ser capaz de llegar a acuerdos si hay posturas divergentes (Martín-Cáceres et al., 2022). La argumentación no sólo mejora las habilidades de pensamiento crítico, sino que también influye en la tendencia al pensamiento lógico y al logro académico de los estudiantes de ciencias (Polat y Emre, 2020). Por ello, se destaca la importancia de fomentar tanto la habilidad como la voluntad de participar en prácticas argumentativas (Bathgate et al., 2015). Autores como Fayyaz et al. (2017) y Hagop y Rola (2018) argumentan que son necesarias investigaciones que exploren cómo los marcos de pensamiento crítico y argumentación pueden superponerse y complementarse para mejorar la educación en ciencias.

1.2. La superposición y complementación del pensamiento crítico y la argumentación

Según Facione (2007), los buenos pensadores críticos desarrollan hábitos como cuestionar información, ser conscientes de sesgos personales y mantenerse abiertos a nuevas perspectivas. El propio Facione lo descompone en una serie de habilidades cognitivas y disposiciones esenciales para el desarrollo del pensamiento crítico y que se ha podido establecer con dichas habilidades conexiones funcionales entre los componentes del diagrama de Toulmin (1958) (tabla 1) (*Toulmin Argumentation Pattern*, TAP). El modelo argumentativo puede ayudar a mejorar las prácticas de educación científica, enfatizando la necesidad de llegar a refutaciones (Ramos & Fernandes-Sobrinho, 2018) y como herramienta para las evaluaciones de ciencias tienen un impacto positivo en el pensamiento crítico y fomenta el pensamiento diverso en los estudiantes de secundaria (Darang et al., 2023).

Cabe puntualizar que Facione y Toulmin ofrecen perspectivas diferentes sobre el pensamiento crítico, lo que hace que sus modelos no se relacionen de forma estricta uno a uno. Mientras que Facione (2007) describe habilidades cognitivas generales como Interpretación, Análisis, Evaluación, Inferencia, Explicación y Autorregulación, que tienen una aplicación muy amplia y no se limitan únicamente a la argumentación, Toulmin (1958) se centra en descomponer los argumentos en componentes específicos como la Afirmación, los Datos, la Garantía, el Respaldo, el Calificador y la Refutación, ofreciendo un marco estructurado para analizar razonamientos.

Sin embargo, consideramos que ambos modelos pueden complementarse, ya que los elementos de Toulmin pueden entenderse como aplicaciones prácticas de las habilidades generales de Facione. Por ejemplo, la habilidad de Interpretación se conecta con los Datos, el Análisis con la Garantía y la Evaluación con el Respaldo, creando una relación que consideramos enriquecedora y que permite integrar ambas perspectivas para analizar y construir argumentos de manera más completa y que mostramos en la tabla 1.

El *Toulmin Argumentation Pattern* (TAP) (1958), propuesto por el filósofo Stephen Toulmin, es un modelo ampliamente utilizado para descomponer y analizar la calidad de los argumentos (Beniermann et al., 2021). Su enfoque permite identificar los elementos esenciales que estructuran un razonamiento sólido convirtiéndose en una herramienta para analizar la calidad argumentativa. Los principales componentes incluyen la Afirmación (Claim), que corresponde a la idea principal o conclusión que se busca defender y los Datos (Data), que aportan la evidencia necesaria para respaldarla. Estos elementos están conectados a través de la Garantía (Warrant), que actúa como el puente lógico entre los datos y la afirmación. Además, el modelo incluye el Respaldo (Backing), que refuerza la validez de esta conexión; el Calificador (Qualifier), que establece el grado de certeza o los matices de la afirmación; la Refutación (Rebuttal), que anticipa posibles contraargumentos o excepciones. Juntos, no sólo nos ayudan a asociar la argumentación que desarrollan con las habilidades, sino que nos ayudan en conjunto a conocer mejor qué se está desarrollando (habilidad o elemento argumentativo) y, así, estos elementos proporcionan una estructura clara para evaluar la solidez y credibilidad de un argumento.

1.3. Patrimonios controversiales ligados a problemas sociocientíficos reales como contexto

¿Qué problemas complejos deberíamos trabajar en las aulas de ciencias para promover la argumentación y el pensamiento crítico? Con el fin de preparar a este alumnado para enfrentarse a problemas del mundo real, autores como Danchin (2023) y Vieira y Tenreiro-Vieira (2016) enfatizan la necesidad de llevar a cabo un enfoque más integrado que combine el PCrit con la adquisición de competencias científicas. Estas competencias con características como la capacidad de aplicar conocimiento científico a problemas y situaciones de la vida, junto con la disposición a implicarse de forma individual o colectiva en asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología, así como a tomar decisiones fundamentadas y responsables con iniciativa y autonomía personal (Blanco-López et al., 2018), son características que se alinean en gran parte con la cuestión planteada.

Autores como Sadler et al. (2007) y Beniermann et al. (2021) nos invitan a reflexionar sobre la importancia de abordar temas contextualizados, utilizando los llamados problemas sociocientíficos (*Socio-Scientific Issues, SSI*). Estos problemas no solo nos ayudan a entender mejor los contenidos científicos, sino que también se convierten en una herramienta poderosa para formar ciudadanos más críticos y comprometidos en las aulas de ciencias. Sin embargo, como indica Sadler (2010), “los detalles de cómo lograr esto parecen poco desarrollados”. En ciencias experimentales, la enseñanza a través de SSI, especialmente dentro del enfoque STEM, ha mostrado mejoras significativas en el rendimiento y en la actitud del alumnado (Wahono et al., 2021). En ciencias sociales, los SSI proporcionan un contexto para explorar los impactos sociales de la ciencia y la tecnología, alentando al alumnado a examinar críticamente los valores, las estructuras de poder y la ética (Hodson, 2020). Asimismo, los SSI no son, de ninguna manera, la única forma de promover la alfabetización científica, pero pueden proporcionar un poderoso vehículo para que los docentes estimulen el crecimiento intelectual y social de su alumnado. Si queremos el estudiantado piense por sí mismo, necesitan oportunidades para participar en el razonamiento informal, incluyendo la contemplación de evidencias y datos, y expresarse a través de la argumentación (Sadler, 2004).

Es en este punto donde ponemos de relevancia el papel importante que puede desempeñar la enseñanza de temas controvertidos, entendiendo controvertidos como temas que hacen surgir emociones intensas y dividen a la opinión pública (Huddleston y Kerr, 2016). Para ello, Estepa y Martín-Cáceres (2018) plantean la necesidad de incorporar en los procesos de enseñanza los llamados patrimonios controversiales, elementos patrimoniales seleccionados didácticamente porque suscitan algún dilema, debate o conflicto social. Estos se postulan como una fuente de conocimiento dinámica y activa, capaz de fomentar el diálogo y cuestionar ideas preestablecidas en el presente para que, a través de un proceso de reflexión y maduración, adquirir un PCrit que, según Martín-Cáceres et al. (2021) permita el análisis de las estructuras actuales y fomente cambios sistémicos hacia una sociedad más justa y equitativa.

1.4. El enfoque STEAM

Para enfrentarse a problemas actuales es fundamental en el alumnado tenga la capacidad de posicionarse en cuestiones interdisciplinarias, así como de tomar posiciones informadas sobre problemas complejos a través de la evaluación crítica (Eastwood et al., 2011). ¿Cómo abordamos el enfoque interdisciplinar?

La educación STEAM entendida como un enfoque educativo que integra conocimientos, habilidades y/o actitudes de las disciplinas que componen el acrónimo en una experiencia educativa, permite orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje hacia la resolución de problemas o realización de proyectos que requieren la selección, recopilación e interpretación de la información, extracción de conclusiones que tienen lugar en problemáticas y situaciones cotidianas del mundo real (Blanco-López et al., 2018; Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024). La educación STEAM promueve la alfabetización científico-tecnológica, la justicia social y el desarrollo sostenible (Domènech, 2018) y puede desarrollar habilidades como el PCrit, la resolución de problemas, así como habilidades de colaboración y de comunicación (Ridwan et al. 2020). Sin embargo, incluso bajo el paraguas de la ley actual de educación, su implementación y su conceptualización es ambiciosa y compleja (Toma y García-Carmona, 2021).

1.5. Objetivo del estudio

El objetivo principal de este estudio es analizar si el desarrollo de un proyecto educativo basado en el enfoque STEAM y contextualizado en un patrimonio controversial (Campina et al. 2025a, 2025b, 2025c) como el río Tinto y su entorno, ha promovido el desarrollo del pensamiento crítico y la argumentación en los estudiantes. Así, a través de actividades interdisciplinarias, como prácticas

científicas, modelización, uso de tecnologías y un debate, se busca evaluar cómo estas prácticas han fomentado la capacidad de los estudiantes para construir argumentos fundamentados y reflexionar críticamente sobre problemáticas complejas ligadas al contexto.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación se desarrolló a través de un enfoque cualitativo-descriptivo, centrado en la exploración del desarrollo del pensamiento crítico y la argumentación en un contexto educativo. Para llevar a cabo este enfoque, el Proyecto Río Tinto se diseñó como una experiencia interdisciplinar para alumnos de Educación Secundaria que integró Biología y Geología, Física y Química, y Geografía e Historia, complementadas con prácticas científicas como la indagación, la modelización (Campina-López et al., 2023; Jiménez-Liso et al., 2022) y procesos para la resolución de problemas complejos como el pensamiento computacional (Wing, 2006). Además, el alumnado exploró diferentes fuentes documentales a través de webs y fotografías de la sociedad y actividad minera de la zona con la llegada de los británicos en la localidad Riotinto (Huelva, España), cuya actividad supuso los inicios de la revolución industrial en la zona y se desarrolló desde finales del siglo XIX hasta las primeras décadas del siglo XX. Visitaron el entorno de la localidad y de su río para conocer su historia, así como el ecosistema del río Tinto, un río caracterizado por sus aguas rojas de pH cercano a 2 y su alta concentración en hierro y tomando fotos y muestras de su biología y geología que plasmaron tanto en sus cuadernos de campo como páginas webs colaborativas elaboradas por el alumnado, como repositorio de toda información y evidencias. Así, en el río, el alumnado midió parámetros fisicoquímicos utilizando sensores programados en clase por ellos mismos y, además, tomaron muestras del río y principales afluentes para analizarlas en el aula y hacer una maqueta para entender cómo varía la concentración de pH, representándolo en gráficos. De este modo, la situación de aprendizaje llevada a cabo permitió abordar problemáticas ambientales, históricas y sociales ligadas a este enclave único, integrando diferentes disciplinas para analizar su impacto y significación.

Según la clasificación de perspectivas desde las que analizar los patrimonios controversiales, basada en las aportaciones de Estepa et al. (2021), Arroyo-Mora et al. (2022) y Sampedro Martín et al. (2022), los elementos patrimoniales presentes en la localidad onubense de Minas de Riotinto pueden considerarse patrimonios interesados y patrimonios sometidos-rescatados. Su intensa explotación minera desde época prerromana y romana hasta finales el siglo XX, ha generado un paisaje singular, de alto valor geológico, pero con un fuerte impacto ambiental. Por un lado, la gestión actual del patrimonio, el entorno natural del río Tinto y la disposición de sus elementos suscitan conflictos de intereses relacionados con factores económicos, políticos, ideológicos y medioambientales. Por otro lado, la configuración del territorio, marcada por la influencia británica presente en la arquitectura de la zona y la interacción con la sociedad andaluza de la época, puede analizarse como un patrimonio sometido-rescatado, resultado de la dominación cultural inglesa sobre la cultura autóctona.

2.1. Participantes

El estudio contó con la participación de 27 estudiantes de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) de un instituto situado en Huelva, España). Estos estudiantes formaron parte de un grupo heterogéneo, con edades comprendidas entre los 15 y 16 años, que trabajaron de manera colaborativa en el marco de un proyecto interdisciplinar centrado en el río Tinto y su entorno.

2.2. Instrumentos

Se utilizaron dos tipos de instrumentos, clasificados como de primer orden o recogida de información nivel y de segundo orden o de análisis:

Instrumentos de Primer Orden

Cuestionario Inicial (Pre): Diseñado para recoger ideas previas del alumnado sobre el río Tinto. Este cuestionario de respuesta abierta planteaba 31 preguntas y afirmaciones relacionadas con el río y su entorno que invitaba a los alumnos tanto a mostrar su grado de acuerdo o desacuerdo como de razonar y argumentar sus respuestas. Fue validado por un grupo de 6 expertos del área de didáctica de ciencias experimentales y didácticas de ciencias sociales, así como del propio tutor del alumnado, para garantizar su fiabilidad y relevancia. El proceso de validación incluyó la evaluación de los ítems en términos de claridad, relevancia y representatividad, obteniendo un índice Kappa de 0,72, que indica un buen acuerdo entre los evaluadores (Gwet, 2021), y un Alfa de Cronbach de 0,81, lo que refleja una alta consistencia interna del instrumento (Edelsbrunner et al., 2025). Las respuestas se analizaron en función de su relación con los bloques temáticos establecidos (Contaminación, Biodiversidad, Singularidad del río, Impacto humano y Restauración vs. Conservación).

Debate Final (Post): Una vez transcurrida la situación de aprendizaje, se llevó a cabo un debate como actividad de cierre. En él, el alumnado movilizó contenidos de Física y Química (como el pH o la presencia de metales), de Biología y Geología (presencia de organismos extremófilos, singularidad biológica del ecosistema y sus materiales geológicos, y de Geografía e Historia (como el legado minero y el valor patrimonial del barrio de Bellavista), integrándolos en sus argumentos de forma coherente con el enfoque interdisciplinar planteado. El profesor, como moderador, instó a los 27 estudiantes a participar activamente para defender posturas y dar argumentos en torno a distintos bloques temáticos como Contaminación, Biodiversidad, Singularidad del río, Impacto humano y Beneficios de la restauración vs conservación. Este debate estructurado se llevó a cabo dividiendo la clase en Conservadores (a favor de mantener al río en las características actuales) y Restauradores (a favor de llevar a cabo su descontaminación y restauración). Para su análisis, se realizó una transcripción completa del debate que había sido videograbado.

Instrumentos de Segundo Orden

Tabla TAP-Facione: Para el análisis, se elaboró un instrumento que combina los componentes del modelo TAP (Afirmación, Datos, Garantía, Respaldo, Calificador y Refutación) con las habilidades de pensamiento crítico propuestas por Facione (Interpretación, Análisis, Evaluación, Inferencia, Explicación y Autorregulación) (tabla 1). Este instrumento permitió evaluar simultáneamente la calidad estructural de las argumentaciones y el nivel de desarrollo de habilidades críticas, proporcionando una herramienta integral para el análisis del pensamiento crítico en el alumnado.

Para realizar el análisis, primero se definieron los bloques temáticos abordados en las intervenciones de los alumnos (Contaminación, Biodiversidad, Singularidad del río, Impacto humano y Restauración vs. Conservación) y se categorizó el contenido a través de MAXQDA (24.2) en base a dichos bloques. A continuación, se estableció una comparativa entre las respuestas iniciales recogidas en el cuestionario (Pre) y las respuestas generadas durante el debate final (Post), tras la implementación de la secuencia didáctica. Esta comparación se realizó aplicando los componentes del modelo de Toulmin (TAP), identificando en cada respuesta las estructuras argumentativas básicas: Afirmación, Datos y Garantía, así como elementos complementarios como Respaldo, Calificador y Refutación, si estaban presentes.

Posteriormente, se estableció una relación con las habilidades generales de pensamiento crítico propuestas por Facione (2007), donde, por ejemplo:

- Interpretación se vinculó con los Datos, evidenciando la capacidad de los estudiantes para reconocer información relevante.

- Análisis se relacionó con la Garantía, reflejando cómo los alumnos establecieron conexiones lógicas entre evidencias y conclusiones.
- Evaluación se conectó con el Respaldo, reflejando la capacidad para valorar la solidez de los argumentos y el uso de evidencia adicional o ejemplos.

TABLA 1. Relación entre las habilidades de pensamiento crítico de Facione (2007) y los componentes del diagrama de argumentación de Toulmin (*Toulmin Argumentation Pattern*, TAP) (1958).

Facione (Habilidades del Pensamiento Crítico)	TAP (Componentes del Diagrama)
Interpretación: Es la capacidad de entender y expresar el significado o la relevancia de datos, experiencias o ideas. Incluye subhabilidades como clasificar, descifrar significados y aclarar conceptos. Ejemplo: identificar la idea principal de un texto o explicar el propósito de un autor.	Data (Datos): Evidencias o información presentada como base.
Análisis: Consiste en identificar las relaciones entre ideas o argumentos. Esto implica examinar similitudes y diferencias, detectar supuestos o descomponer argumentos complejos en partes más manejables. Ejemplo: evaluar si las razones dadas en un editorial respaldan la conclusión.	Warrant (Garantía): Conexión lógica entre datos y afirmación.
Evaluación: Es la habilidad de valorar la credibilidad de fuentes o la solidez lógica de un argumento. Esto incluye juzgar si una evidencia es suficiente o si una conclusión se desprende de las premisas planteadas.	Backing (Respaldo): Refuerza garantías.
Inferencia: Implica extraer conclusiones razonables a partir de la información disponible. Esto incluye formular hipótesis, interpretar datos y prever implicaciones de ciertos hechos o posiciones.	Claim (Afirmación): Conclusión o postura defendida.
Explicación: Es la capacidad de comunicar con claridad el razonamiento propio, justificando decisiones y conclusiones. Requiere presentar argumentos bien estructurados y basados en evidencias.	Qualifier (Calificador): Grado de certeza o matices en las afirmaciones.
Autorregulación: Permite aplicar el pensamiento crítico sobre uno mismo. Implica monitorear y corregir el propio razonamiento, identificando errores y ajustando conclusiones en consecuencia. Es, en esencia, el pensamiento crítico aplicado al pensamiento crítico.	Rebuttal (Refutación): Autoevaluación del razonamiento y anticipación de contraargumentos.

Fuente: elaboración propia

Este procedimiento permitió identificar y categorizar los progresos conceptuales trabajados, considerando el progreso en la estructura y calidad de los argumentos, así como el grado de profundidad conceptual alcanzado en cada bloque temático.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la categorización de los datos, en esta sección se presentan los resultados del análisis realizado sobre los datos obtenidos en el cuestionario inicial y el debate final. Por un lado, se presentan y analiza el desarrollo de las argumentaciones utilizando el modelo TAP. Por otro, se evalúan las habilidades de pensamiento crítico propuestas por Facione (2007) manifestadas en las

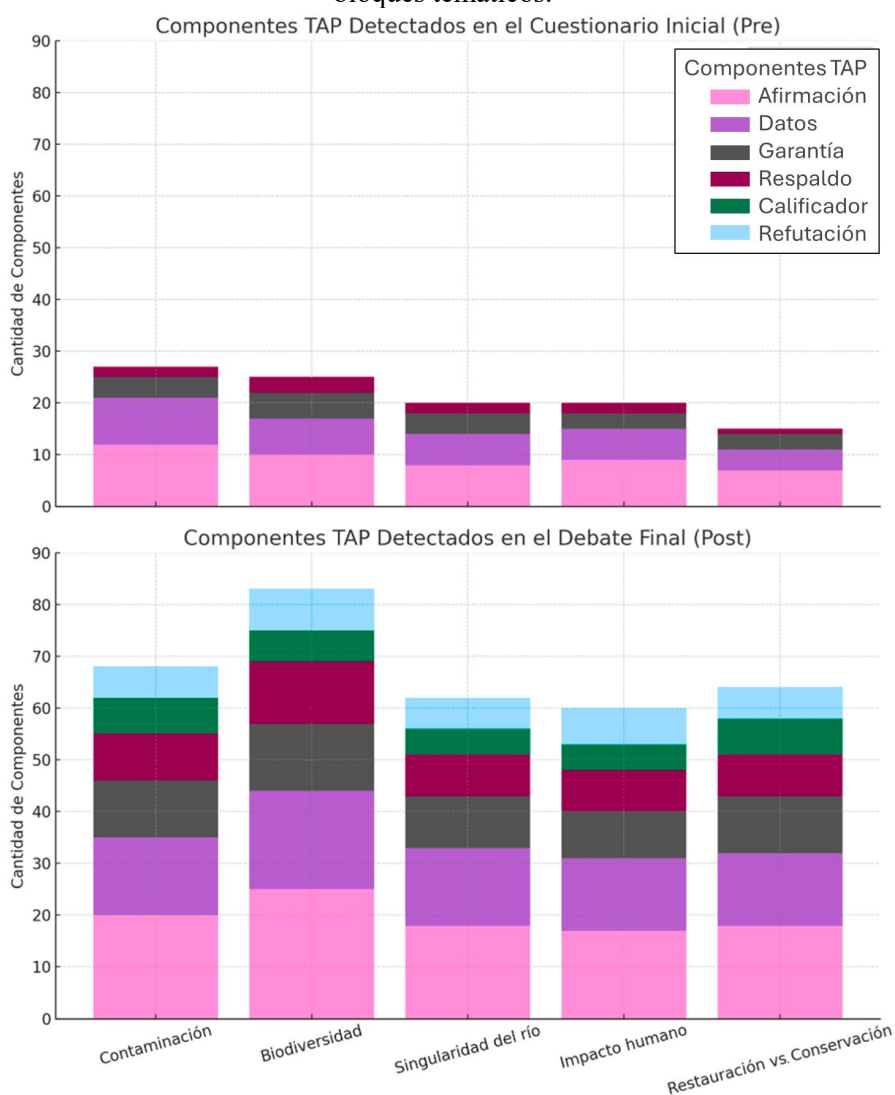
respuestas del alumnado. Finalmente, se discute la relación entre ambos enfoques, destacando cómo las capacidades argumentativas y críticas se complementan en el marco del proyecto interdisciplinar sobre el río Tinto.

3.1. Análisis según los componentes TAP

El gráfico 1 presenta una comparativa de los componentes TAP identificados en las respuestas del cuestionario en los cinco bloques anteriormente mencionados. En él se observa un incremento significativo y generalizado en la cantidad y diversidad de los componentes argumentativos del modelo TAP entre el cuestionario inicial (Pre) y el debate final (Post).

Del mismo modo, en el gráfico 1 se puede apreciar que se ha producido un cambio donde, además de la cantidad de componentes argumentativos expresados en el debate final, se destaca la aparición de elementos de mayor complejidad, como los Calificadores y las Refutaciones, que no se observaron en el cuestionario inicial. Ambos se consideran componentes avanzados del modelo TAP que requieren habilidades argumentativas complejas como matizar posturas, contraargumentar o responder en base a fundamentos sólidos, que se han logrado manifestar en el debate tras la puesta en marcha de este proyecto.

GRÁFICO 1. Comparativa de Componentes del TAP el cuestionario inicial y el debate final divididas en los 5 bloques temáticos.



Fuente: elaboración propia

La ausencia o el menor número de componentes TAP en las respuestas del alumnado en el cuestionario inicial sugiere que el enfoque STEAM, combinado con la naturaleza del debate sobre patrimonios controversiales, ha tenido una influencia positiva en el desarrollo de las habilidades argumentativas. Al situarse en un aula de ciencias que aborda problemas sociales reales, los estudiantes pudieron argumentar sobre cuestiones que involucran diversas perspectivas. Este enfoque ha enriquecido sus habilidades argumentativas, promoviendo argumentos más completos, reflexivos y bien fundamentados. Autores como Blanco-López et al. (2018) y Lupión-Cobos y García-Ruiz (2024) ya pusieron de manifiesto la influencia positiva del enfoque STEAM en la que, a través de este tipo de proyectos, se fomentan actividades relacionadas con la recopilación, selección e interpretación de la información. Esto se veía reflejado en los resultados obtenidos, permitiendo al alumnado sustentar sus argumentos de forma más sólida, lo que se traduce en un incremento de componentes del modelo TAP como Datos, Respaldo y Garantía. Para ejemplificar este hecho, en el debate, un estudiante del grupo Conservadores presentó la Afirmación: *"El río Tinto no está contaminado exclusivamente por la acción humana, ocurre de forma natural debido a la pirita y a las bacterias"*. Para respaldarla, aportó Datos como la presencia de minerales como la pirita, que al oxidarse generan acidez de forma natural y a la acción de bacterias oxidantes. Posteriormente, conectó estos elementos con una Garantía lógica: *"ya se oxida sola al contacto con el agua que tiene oxígeno, lo cual no depende directamente de actividades humanas."* Este razonamiento refleja cómo el alumnado desarrolló la capacidad de estructurar sus argumentos incorporando tanto datos relevantes como garantías sólidas, algo que no se observaba en el cuestionario inicial, donde, de forma general, describían al río como *"agua contaminada/agua que no se puede beber"* o, en el mejor de los casos, se hablaba de *"agua contaminada con metales pesados"*.

Resulta interesante comentar, además, respecto a los bloques temáticos, dónde se han desarrollado más componentes del modelo TAP. En el cuestionario, los bloques se distribuyen de la siguiente manera: Contaminación (25,2 %), Biodiversidad (23,4 %), Singularidad del río (18,7 %), Impacto humano (18,7 %) y Restauración vs. Conservación (14 %). En el debate final, los porcentajes varían, con Biodiversidad a la cabeza (24,6 %), seguida de Contaminación (20,2 %), Restauración vs. Conservación (19 %), Singularidad del río (18,4 %) e Impacto humano (17,8 %). El bloque de Biodiversidad sobresale como el área con más componentes desarrollados en el debate final, seguido por Contaminación y Restauración vs. Conservación, lo que refleja un interés especial en los temas vinculados al valor ecológico y a la controversia sobre el equilibrio entre conservación y restauración del río Tinto. Los argumentos relacionados con la repercusión de las decisiones que se tomarían en relación con el impacto sobre los seres vivos (adaptados y no adaptados al río) fueron el eje central en el debate. El alumnado consideró el concepto de preservación de la vida como el objetivo principal para tener en cuenta en la toma de decisiones, poniendo de manifiesto una gran concienciación tanto a la protección de especies endémicas de la zona y su relevancia a nivel científico, así como del impacto negativo que tienen las propiedades fisicoquímicas (como el pH), que midieron a través de sensores en el actual estado del río sobre el resto de los seres vivos del ecosistema (Campina-López et al., 2024).

Los datos revelan una expansión de las componentes TAP (tabla 2), especialmente en aquellas categorías que reflejan un mayor grado de análisis y complejidad, como Garantía, Respaldo y Refutación. Estos componentes son fundamentales para estructurar una argumentación sólida y bien fundamentada.

El análisis evidencia un notable progreso en las habilidades argumentativas del alumnado entre el cuestionario inicial y el debate final. Las afirmaciones evolucionaron de enunciados genéricos, como *"El agua del río tiene un color rojo porque está contaminada,"* a conclusiones más claras y específicas, como *"El río Tinto no solo es un patrimonio natural, sino que también es un patrimonio científico-tecnológico que tenemos que conservar."* Los datos pasaron de observaciones vagas, como *"El río tiene muchos metales,"* a información precisa y fundamentada: *"El color del río proviene de la oxidación de minerales como la pirita y ha venido a estudiarlo la NASA por su parecido con"*

Marte." Además, las garantías reflejaron avances en la conexión lógica entre datos y afirmaciones, como en: "Si decimos que está contaminada por la acción humana, no es así, porque este proceso ocurre de forma natural debido a las características químicas de las rocas." El uso de respaldos incrementó (+35) y evidenció la incorporación de referencias externas para fortalecer posturas, por ejemplo: "Si restauramos el río, podemos recuperar ecosistemas perdidos, ya que está demostrado que en otras áreas contaminadas la biodiversidad puede regenerarse." La aparición de calificadores (30 registros), como "Podemos mantener el río limpio, pero eso si se quitan las escombreras mineras de su nacimiento." demostró la capacidad del alumnado para matizar sus argumentos, añadiendo condiciones que limitan o especifican el alcance de sus propuestas. Este tipo de razonamiento evidencia un avance en el pensamiento crítico, ya que el alumnado no solo presenta una postura, sino que también reconocen con seguridad factores externos o restricciones que deben considerarse para la implementación de sus ideas. Por último, con 33 refutaciones, el alumnado mostró habilidad para anticipar y responder a contraargumentos, como en: "Es verdad que el río está contaminado, pero su purificación eliminaría microorganismos únicos que son endémicos de la zona y sería negativo para las investigaciones de la NASA." Este avance destaca la efectividad del enfoque educativo y la metodología implementada.

TABLA 2. Incremento Absoluto de Componentes TAP entre Cuestionario Inicial (Pre) y Debate Final (Post)

Componente TAP	Cuestionario Inicial (Pre)	Debate Final (Post)	Diferencia Absoluta
Afirmación	46	98	+52
Datos	32	77	+45
Garantía	19	54	+35
Respaldo	10	45	+35
Calificador	0	30	+30
Refutación	0	33	+33

Fuente: elaboración propia

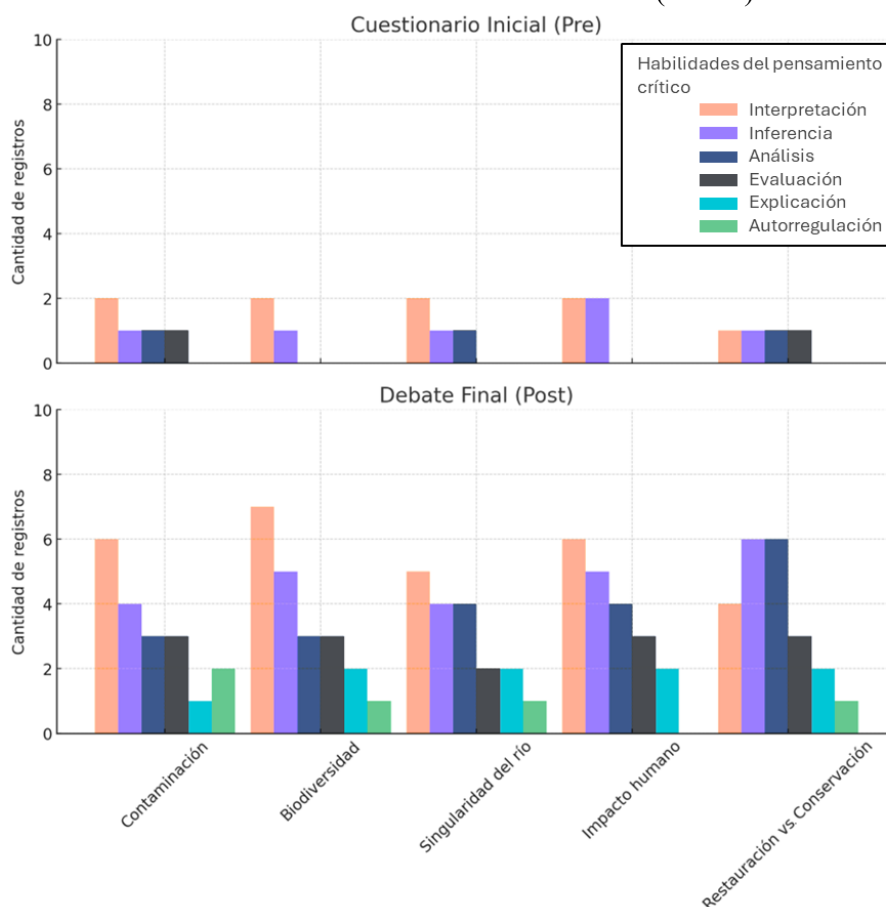
3.2. Aplicación del instrumento Facione-TAP

A través del instrumento Facione-TAP (tabla 1) se ha podido evaluar cómo ha evolucionado el pensamiento crítico del alumnado a lo largo del proyecto. Tras su aplicación, se observa cómo los componentes argumentativos presentes en las respuestas del alumnado, según el modelo TAP analizado previamente, están vinculados con habilidades críticas descritas por Facione, como la interpretación, el análisis o la evaluación. Aunque estas asociaciones son claras, el nivel de desarrollo alcanzado por cada habilidad varía, mostrando un progreso significativo en algunas áreas, mientras que otras aparecen en estadios más iniciales.

El gráfico 2 muestra cómo estas habilidades mejoraron después de la implementación del debate final. En la tabla 3 podemos ver que las habilidades de interpretación e inferencia aumentaron notablemente, con un incremento de 19 y 18 registros respectivamente. Este aumento indica que los estudiantes fueron capaces de identificar mejor la información relevante y sacar conclusiones fundamentadas. Un ejemplo de ello lo vimos en el bloque de Contaminación, donde el alumnado

comenzó a incorporar datos más detallados sobre la oxidación de minerales y su impacto en el pH del río.

GRÁFICO 2. Distribución de habilidades del pensamiento crítico clasificadas por bloques temáticos tras el análisis con el instrumento Facione-TAP (tabla 1).



Fuente: elaboración propia

TABLA 3. Habilidades de Pensamiento Crítico desarrolladas en el cuestionario inicial y el debate según el instrumento Facione-TAP (tabla 1).

Habilidad Crítica	Cuestionario Inicial (Pre)	Debate Final (Post)	Diferencia Absoluta
Interpretación	9	28	+19
Inferencia	6	24	+18
Análisis	3	20	+17
Evaluación	2	14	+12
Explicación	0	9	+9
Autorregulación	0	5	+5

Fuente: elaboración propia

En cuanto al análisis, pasamos de tener solo 3 registros en el cuestionario inicial a 20 en el debate final, especialmente en el bloque de “Restauración vs. Conservación”. Aquí, el alumnado no solo mejoró su habilidad para conectar datos, sino que sus razonamientos se volvieron mucho más profundos y estructurados. Un buen ejemplo es cuando uno de los estudiantes dijo: “Eliminar la contaminación podría afectar especies únicas como la *Erica andevalensis*, lo que no sería viable para

el equilibrio del ecosistema”. Este tipo de razonamiento demuestra cómo los estudiantes han mejorado al analizar situaciones complejas de manera más reflexiva.

En cuanto a la habilidad de evaluación, vimos un crecimiento significativo (+12 registros). Esto nos indica que el alumnado mejoró al valorar el rigor de las fuentes y la solidez de los argumentos presentados durante el debate. Aunque esta habilidad sigue en desarrollo, ya se nota un avance hacia un juicio más fundamentado, tal y como plantean Blanco-López et al. (2017), quienes subrayan que este tipo de habilidades se desarrollan cuando los estudiantes tienen la oportunidad de comparar, contrastar y evaluar información basándose en evidencia.

Respecto a la explicación, aunque no apareció en el cuestionario inicial, los estudiantes lograron 9 registros en el debate final. Esto refleja que, aunque se parte de 0, aún falta trabajo en esta área, han comenzado a organizar mejor sus argumentos y a expresarlos de manera más clara. Aun así, comparado con otras habilidades, la explicación sigue siendo una de las que más necesita mejorar. Este progreso estaría relacionado con el enfoque STEAM y el trabajo con problemas complejos, ya que fomenta un aprendizaje más reflexivo y argumentado, como ya se ha mencionado en la literatura (Blanco-López et al., 2018).

Por último, la autorregulación, aunque es una habilidad emergente que, a pesar de partir de 0, solo presentó 5 registros en el debate final. Se observó principalmente en los bloques de “Contaminación” y “Restauración vs. Conservación”, donde los estudiantes empezaron a anticipar los contraargumentos y a ajustar sus razonamientos a medida que escuchaban a sus compañeros. Un ejemplo de autorregulación fue cuando un estudiante dijo: *“Es cierto que limpiar el río podría beneficiar a la biodiversidad, pero también eliminaríamos microorganismos únicos que son esenciales para investigaciones científicas”*. Esta capacidad de reflexionar sobre sus propios argumentos y ajustarlos según lo que se discutía muestra un avance importante en el desarrollo del pensamiento crítico, como también lo mencionan Sadler et al. (2007). La autorregulación refleja un nivel de madurez cognitiva que se va desarrollando conforme que el alumnado se enfrenta a problemas más complejos, lo que confirma la importancia de la implementación de estrategias de aprendizaje activo.

Estos resultados confirmarían la efectividad del enfoque STEAM y del uso de patrimonios controversiales como el río Tinto. Tal como señalan Blanco-López et al. (2018) y Estepa y Martín-Cáceres (2018), los problemas sociocientíficos reales, como los que involucran la gestión y preservación del río, han permitido que los estudiantes no solo mejoren sus habilidades críticas, sino que también adquieran una mayor capacidad para tomar decisiones fundamentadas sobre cuestiones complejas y pertinentes en su entorno y de una forma más equitativa en los diferentes bloques.

4. CONCLUSIÓN

El estudio sobre el enfoque STEAM y el uso de patrimonios controversiales, como el río Tinto, ha aportado datos que sugieren que este enfoque podría mejorar las habilidades argumentativas y de pensamiento crítico de los estudiantes. La interacción con un patrimonio tan cercano y significativo ha tenido un impacto directo en el sentimiento identitario del alumnado, poniendo en conflicto ese sentimiento con los conocimientos adquiridos durante la caracterización del río. Tal como señalan Estepa y Martín-Cáceres (2018), el trabajo con patrimonios controversiales fomenta una reflexión profunda sobre las implicaciones ambientales, sociales y éticas, lo que resulta ser un vehículo muy valioso para el desarrollo de habilidades críticas. A raíz de los resultados, se considera que el alumnado ha tenido la oportunidad de abordar problemas sociocientíficos reales, alineándose con la cuestión planteada por la OCDE (2015) sobre la necesidad de preparar al alumnado para tomar decisiones informadas y responsables en un mundo interconectado.

En cuanto a los objetivos planteados, el estudio ha logrado proporcionar una visión clara del desarrollo de las habilidades argumentativas y el pensamiento crítico a través de la implementación de actividades basadas en un patrimonio controversial. El objetivo principal, relacionado con evaluar

el desarrollo de estas habilidades en los estudiantes, se ha cumplido al observarse un progreso significativo en la calidad de los argumentos presentados, especialmente en el análisis de datos, la evaluación de fuentes y la argumentación en torno a problemáticas complejas. Este progreso se refleja en el incremento de los componentes TAP (Afirmación, Datos, Garantía, Respaldo, Calificador y Refutación) en las respuestas de los estudiantes, especialmente en las categorías de mayor complejidad, como Garantía, Respaldo, Calificador y Refutación. El uso del río Tinto como patrimonio controversial facilitó el abordaje de estos temas complejos, conectando diversas disciplinas como Biología y Geología, Física y Química, y Geografía e Historia, tal como se planteaba en la introducción. Además, el enfoque interdisciplinar utilizado se alinea con los comentarios de autores como Darang et al. (2023), quienes destacan cómo la interacción dialógica en los debates puede favorecer el desarrollo de habilidades críticas y argumentativas en la educación secundaria.

En cuanto a las habilidades específicas, el estudio muestra un avance notable en habilidades como la interpretación, el análisis y la inferencia, con un aumento de los registros en estos campos en el debate final. Sin embargo, se observan áreas de mejora, como la habilidad de explicación, que, a pesar de haber aumentado considerablemente, sigue siendo una de las más débiles. La autorregulación también aparece como una habilidad emergente, aunque todavía presenta un desarrollo limitado en comparación con el resto de las habilidades. Esto resalta la necesidad de seguir trabajando en la organización y claridad de los argumentos y de fomentar una mayor capacidad de los estudiantes para reflexionar y ajustar sus propios razonamientos a lo largo de las discusiones.

En términos generales, aunque teniendo en cuenta las limitaciones de una muestra pequeña, los resultados obtenidos sugieren que el enfoque STEAM, combinado con el trabajo con patrimonios controversiales, es una herramienta valiosa para enriquecer el aprendizaje interdisciplinar y fomentar una perspectiva crítica en el alumnado. Este tipo de proyectos no solo mejora las habilidades argumentativas, sino que también permite a los estudiantes enfrentarse a problemas reales y complejos, promoviendo un aprendizaje significativo y relevante. Los datos reflejan una mejora sustancial en las habilidades de interpretación de datos, análisis de relaciones entre factores diversos, evaluación de evidencias y la capacidad para inferir conclusiones razonadas. La aparición de refutaciones y calificadores en el debate final muestra un nivel avanzado de reflexión y autorregulación, elementos que según Ramos y Fernandes-Sobrinho (2018) son fundamentales para el desarrollo del pensamiento crítico.

Por último, aunque estos resultados son muy positivos, se recomienda continuar investigando para comprender mejor cómo estos enfoques educativos pueden potenciar aún más el desarrollo del pensamiento crítico y la argumentación en diferentes contextos. La controversia, el debate y la discusión siguen siendo algunas de las estrategias más poderosas de la educación para la ciudadanía (Pagés, 2019), y el uso de patrimonios controversiales podría seguir siendo un espacio valioso para fortalecer la capacidad de los estudiantes para interactuar respetuosamente con diferentes perspectivas y tomar decisiones informadas y responsables en su entorno.

Referencias

- Ananda, L. R., Rahmawati, Y., y Khairi, F. (2023). Critical thinking skills of Chemistry students by integrating design thinking with STEAM-PjBL. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 352. <https://doi.org/10.3926/jotse.1938>
- Arroyo-Mora, E., Sampedro-Martín, S., Martín-Cáceres, M. J., y Cuenca-López, J. M. (2022). Controversial Heritage, Ecosocial Education and Citizenship. Connections for the Development of Heritage Education in Formal Education. En D. Ortega-Sánchez (Ed.), *Controversial Issues and Social Problems for an Integrated Disciplinary Teaching* (pp. 35-52). *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08697-7_4

- Bathgate, M. E., Crowell, A., Schunn, C., Cannady, M., y Dorph, R. (2015). The Learning Benefits of Being Willing and Able to Engage in Scientific Argumentation. *International Journal of Science Education*, 37, 1590-1612. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1045958>
- Beniermann, A., Mecklenburg, L., y Zu Belzen, A. U. (2021). Reasoning on Controversial Science Issues in Science Education and Science Communication. *Education Sciences*, 11(9), 522. <https://doi.org/10.3390/educsci11090522>
- Blanco-López, Á., España-Ramos, E., y Franco-Mariscal, A. J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004>
- Blanco-López, Á., España-Ramos, E., y Franco-Mariscal, A. J. (2018). Competencias y prácticas científicas en problemas de la vida diaria. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 92, 45-51. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6390253>
- Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (2023). Análisis para la implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y la resolución de problemas en las aulas de ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 7(1), 61–80. <https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493>
- Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á., y Bosnjak-Stepanović, M. (2024). The concept of pH and its logarithmic scale: A Micro Bit experience through inquiry, modeling, and computational thinking. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(4), em14378. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14378>
- Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (2025). ¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno? Programación de sensores para la medida de parámetros fisicoquímicos en Educación Secundaria. En A. A. Lorca Marín (Coord.), *Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales* (pp. 111–132). Ediciones Octaedro. <http://doi.org/10.36006/09692-1>
- Campina-López, A. C., González Castanedo, Y., y Romero Fernández, R. (2025). ¿Cómo es el río Tinto y su entorno?: Ecosistema y su geología en Educación Secundaria. En A. A. Lorca Marín (Coord.), *Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales* (pp. 133–151). Ediciones Octaedro. <http://doi.org/10.36006/09692-1>
- Campina-López, A. C., Arroyo Mora, E., y Sampredo-Martín, S. (2025). ¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?: Patrimonios controversiales y pensamiento histórico en Educación Secundaria. En A. A. Lorca Marín (Coord.), *Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales* (pp. 133–151). Ediciones Octaedro. <https://doi.org/10.36006/09692-1>
- Danchin, A. (2023). Science, method and critical thinking. *Microbial Biotechnology*, 16(10), 1888-1894. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14315>
- Darang, C. M. L., Fadillah, S. M., y Ha, M. (2023). Unveiling Argumentation Skill Profiles: Using Toulmin's Argumentation Model on Senior High School Students' Responses to General Biology Open-Ended Questions. *Brain, Digital, & Learning*, 13(4), 553-571. <https://doi.org/10.31216/BDL.20230032>
- Domènech, J. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice: Revista de Educación Científica*, 2(2), 29-42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6702622>
- Eastwood, J. L., Schlegel, W. M., y Cook, K. L. (2011). Effects of an Interdisciplinary Program on Students' Reasoning with Socioscientific Issues and Perceptions of Their Learning Experiences. En T. D. Sadler (Ed.), *Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research* (pp. 89-126). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1159-4_6
- Edelsbrunner, P. A., Simonsmeier, B. A., y Schneider, M. (2025). The Cronbach's Alpha of Domain-Specific Knowledge Tests Before and After Learning: A Meta-Analysis of Published Studies. *Educational Psychology Review*, 37(1), 1-43. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09982-y>

- Estepa, J., y Martín-Cáceres, M. J. (2018). Competencia en conciencia y expresiones culturales y educación histórica: Patrimonios en conflicto y pensamiento crítico. *La educación histórica ante el reto de las competencias: métodos, recursos y enfoques de enseñanza*, 2018, ISBN 978-84-17219-85-7, págs. 75-86, 75-86. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6620208>
- Estepa, J., Cuenca-López, J. M., y Martín-Cáceres, M. J. (2021). Líneas futuras de trabajo desde el proyecto Epitec: Patrimonios controversiales para una educación ecosocial de la ciudadanía. *Investigación y buenas prácticas en educación patrimonial entre la escuela y el museo: territorio, emociones y ciudadanía*. ISBN 978-84-18105-99-9, págs. 483-492, 483-492. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8227419>
- Facione, P. A. (2007). Pensamiento Crítico: ¿Qué es y por qué es importante? Insight Assessment. *The California Academic Press*, 1-22. <https://eduteka.icesi.edu.co/modulos/6/134/733/1>
- Fayyaz Ahmad, F., Waqar, H., y Farhat, N. (2017). A Critical Review of Scientific Argumentation in Science Education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1). <https://doi.org/10.12973/ejmste/80353>
- Gwet, K. L. (2021). Large-Sample Variance of Fleiss Generalized Kappa. *Educational and Psychological Measurement*, 81(4), 781-790. <https://doi.org/10.1177/0013164420973080>
- Hagop A., Y., y Rola, K. (2018). Argumentation, critical thinking, nature of science and socioscientific issues: A dialogue between two researchers. *International Journal of Science Education*, 40(7), 796-807. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1449986>
- Hodson, D. (2020). Going Beyond STS Education: Building a Curriculum for Sociopolitical Activism. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20(4), 592-622. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00114-6>
- Huddleston, T., y Kerr, D. (2016). Vivir con la controversia: Cómo enseñar temas controvertidos mediante la Educación para la ciudadanía y los derechos humanos (EDC/HRE) Módulo de formación para el profesorado. GCED Clearinghouse. <https://www.gcedclearinghouse.org/es/resources/vivir-con-la-controversia-c%C3%B3mo-ense%C3%B1ar-temas-controvertidos-mediante-la-educaci%C3%B3n-para-la?language=ar>
- Jiménez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martínez-Chico, M., y López-Gay, R. (2022). A Model-Based Inquiry Sequence as a Heuristic to Evaluate Students' Emotional, Behavioural, and Cognitive Engagement. *Research in Science Education*, 52(4), 1313-1334. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>
- Lupión-Cobos, T., y García-Ruiz, C. (2024). Indagación científica escolar y educación STEAM: Formación del profesorado y enseñanza para la transferencia a las aulas. Núm. 81. Graó. ISBN / EAN: 9788412872392. Graó. Especialistas en educación. <https://www.grao.com/libros/indagacion-cientifica-escolar-y-educacion-steam-78773>
- Martín-Cáceres, M. J., Estepa Giménez, J., y Cuenca-López, J. M. (2021). Los patrimonios controversiales en la educación patrimonial para la formación de la ciudadanía. *Enseñanza de las ciencias sociales para una ciudadanía democrática: Estudios en homenaje al profesor Ramón López Facal*. ISBN 978-84-18615-91-7, pp. 109-122. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8482466>
- Martín-Cáceres, M. J., Estepa Giménez, J., y Cuenca-López, J. M. (2022). Problemas socioambientales relevantes y pensamiento crítico en la enseñanza de las Ciencias Sociales: Patrimonios controversiales. *Repensar el currículum de Ciencias Sociales: prácticas educativas para una ciudadanía crítica, Vol. 1*. ISBN 978-84-19071-10-1, pp. 363-370, 363-370. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8599782>
- Polat, H., y Emre, F. (2020). The effect of argumentation method on critical thinking tendency, logical thinking abilities and academic achievement of science teacher candidates / argümantasyon yöntemiyle dayalı laboratuvar etkinliklerinin fen bilgisi öğretmen adaylarının eleştirel düşünme eğilimi, mantıksal düşünme becerileri ve. *European Journal of Education Studies*, 7. <https://doi.org/10.46827/EJES.V7I10.3296>

- Raj, T., Chauhan, P., Mehrotra, R., y Sharma, M. (2022). Importance of Critical Thinking in the Education. *World Journal of English Language*. <https://doi.org/10.5430/wjel.v12n3p126>
- Ramos, T. C., y Fernandes-Sobrinho, M. (2018). Epistemological Contributions of Toulmin's Argumentative Model in Scientific Education. *Creative Education*, 09(04), 559-566. <https://doi.org/10.4236/ce.2018.94039>
- Ruiz Ortega, F. J., Tamayo Alzate, O. E., y Márquez Bargalló, C. (2015). A model for teaching argumentation in science class. *Educação e Pesquisa*, 41(3), 629-646. <https://doi.org/10.1590/S1517-9702201507129480>
- 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., Barab, S. A., y Scott, B. (2007). What Do Students Gain by Engaging in Socioscientific Inquiry? *Research in Science Education*, 37(4), 371-391. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9030-9>
- Sampedro-Martín, S., Arroyo-Mora, E., Cuenca-Lopez, J. M., y Martín-Cáceres, M. J. (2022). Controversial heritage for eco-citizenship education in Social Science didactics (pp. 68-79). <https://doi.org/10.4324/9781003289470-7>
- Solbes, J. A., y Torres, N. Y. (2013). ¿Cuáles son las concepciones de los docentes de ciencias en formación y en ejercicio sobre el pensamiento crítico? *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 1(33), 61-85. <https://doi.org/10.17227/01213814.33ted61.85>
- Toma, R. B., y García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. Enseñanza de las Ciencias. *Revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Vieira, R. M., y Tenreiro-Vieira, C. (2016). Fostering Scientific Literacy and Critical Thinking in Elementary Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(4), 659-680. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9605-2>
- Wahono, B., Chun-Yen, C., y Khuyen, N. T. T. (2021). Teaching socio-scientific issues through integrated STEM education: An effective practical averment from Indonesian science lessons. *International Journal of Science Education*, 43(16), 2663-2683. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1983226>
- Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the Association for Computing Machinery (ACM)*, 49, 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Ying-Yan, L., Huann-shyang, H., Smith, T., Hong, Z.-R., y Hsu, W.-Y. (2020). The effects of critique-driven inquiry intervention on students' critical thinking and scientific inquiry competency. *Journal of Baltic Science Education*, 19(6), Continuous. <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.954>

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Campina López, A. C., de las Heras Pérez, M., y Lorca Marín, A. A. (2025). Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: un estudio de caso sobre patrimonios controversiales. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 48, 117-132. DOI:10.7203/DCES.48.30178