Universidad de Huelva

Departamento de Didácticas Integradas



El pensamiento crítico desde un aula STEAM. Una controversia patrimonial a través del pensamiento computacional, indagación y modelización

Memoria para optar al grado de doctor
presentada por:

Alejandro Carlos Campina López

Fecha de lectura: 17 de octubre de 2025

Bajo la dirección de los doctores:

María Ángeles de las Heras Pérez

Antonio Alejandro Lorca Marín

Huelva, 2025

CC BY NC ND

Universidad de Huelva

Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del deporte
Departamento de Didácticas Integradas

El Pensamiento Crítico desde un aula STEAM. Una controversia patrimonial a través del Pensamiento Computacional, Indagación y Modelización.

Critical Thinking from a STEAM Classroom: A Heritage Controversy through Computational Thinking, Inquiry, and Modeling.

Memoria para optar al grado de doctor con mención internacional presentada por:

Alejandro Carlos Campina López

Tesis doctoral dirigida por:

Antonio Alejandro Lorca Marín
María de los Ángeles de las Heras Pérez

Huelva, 2025

CC BY NC ND

PROGRAMA OFICIAL DE DOCTORADO EN INVESTIGACIÓN EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, SOCIALES Y MATEMÁTICAS Y DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA.

TESIS DOCTORAL



El Pensamiento Crítico desde un aula STEAM. Una controversia patrimonial a través del Pensamiento Computacional, Indagación y Modelización

Critical Thinking from a STEAM Classroom: A Heritage Controversy through Computational Thinking, Inquiry, and Modeling.

Presentada por

Alejandro Carlos Campina López

Tesis doctoral dirigida por:

Dr. Antonio Alejandro Lorca-Marín

Dra. Mariángeles de las Heras Pérez

Huelva, 2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN **1**

ABSTRACT **3**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN **5**

1.1 Estructura de la investigación 5

1.2 Motivaciones: una tesis que brota de la Tierra 6

1.3 Justificación y contextualización 7

1.4 Estancia internacional 13

1.5 Modalidad de la tesis por compendio de publicaciones 14

1.6 Compromiso ético, buenas prácticas en la investigación y compromiso con la sociedad 15

1.7 Problemas y objetivos de la investigación 16

CHAPTER I. INTRODUCTION **25**

1.8 Structure of the Study 25

1.9 Motivations: A Thesis That Emerges from the Earth 26

1.10 Justification and Contextualization 27

1.11 International Research Stay 33

1.12 Thesis Modality: Compendium of Publications 34

1.13 Ethical Commitment, Good Research Practices and Social Responsibility 35

1.14 Research Problem and Objectives 35

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO **45**

2.1. El Pensamiento Crítico y la Argumentación para lograr una Alfabetización Científica Crítica (ACC) 45

2.1.1. Alfabetización Científica: qué y para qué 45

2.1.1.1 La Alfabetización Científica Crítica 47

2.1.1.2 Un marco básico para la alfabetización científica 48

2.1.2 El pensamiento crítico: qué y para qué 49

2.1.2.1 Disposiciones y habilidades del pensamiento crítico 52

2.1.2.2 Buenas prácticas para la enseñanza del pensamiento crítico 54

2.1.3 La argumentación: qué y para qué 57
2.1.3.1 El modelo de desarrollo argumentativo 58
2.2 Hacer ciencia para aprenderla: La indagación y la modelización en ciencias 59
2.2.1 La indagación científica: qué y para qué 60
2.2.1.1 La enseñanza basada en indagación (IBSE) 62
2.2.1.2 Un modelo para la enseñanza basada en la indagación 63
2.2.1.3 Tipos de enseñanza indagatoria 64
2.2.1.4 Consideraciones y buenas prácticas para el desarrollo de la indagación en las escuelas 65
2.2.2 La modelización en ciencias: qué y para qué 66
2.2.2.1 La modelización como herramienta de construcción de conocimiento 67
2.2.2.2 Un modelo para la enseñanza de la modelización 70
2.2.2.3 Consideraciones y buenas prácticas para la modelización en las aulas de ciencias 72
2.2.3 Indagación Basada en Modelos (MBI) 73
2.3 El pensamiento computacional: qué y para qué 77
2.3.1 Un acercamiento hacia un modelo teórico del pensamiento computacional para la resolución de problemas 82
2.3.2 Algunas herramientas o recursos para el desarrollo del pensamiento computacional en las aulas de educación secundaria 86
2.3.2.1 Software 86
2.3.2.2 Hardware 88
2.3.3 Instrumentos de evaluación del pensamiento computacional 91
2.3.4 Consideraciones y buenas prácticas para promover el pensamiento computacional en las aulas 92
2.4 La Competencia Digital y los estándares ISTE 95
2.5 El enfoque STE(A)M: qué y para qué 97
2.5.1 Origen y conceptualizaciones STE(A)M 98

2.5.2 Caracterización del enfoque STEAM: disciplinas, competencias y principios estructurales 101
2.5.3 Modelos de concreción didáctica del enfoque STEAM: planificación y líneas de acción 104
2.5.4 Consideraciones y buenas prácticas para la educación STEAM 106
2.6 El aprendizaje situado y los problemas sociocientíficos: patrimonios controversiales como contextos educativos 108
2.6.1 La enseñanza de las ciencias situada y contextualizada 108
2.6.2 Problemas sociocientíficos y los problemas controversiales en ciencias 110
2.6.3 Los patrimonios controversiales 114
2.6.3.1 El ejemplo del río Tinto y su entorno como patrimonio controversial 116
2.7 La dimensión afectiva: emociones en la enseñanza 117
2.7.1 Las emociones en el aula de ciencias 117
2.7.2 Las emociones académicas 119
2.8 Los contenidos abstractos de ciencias: el caso del pH 122

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 126

3.1 Diseño y enfoque de investigación 126
3.2 Fases del proceso de investigación 131
3.2.1 Fase 1. Exploratoria 132
3.2.2 Fase 2. Planificación 134
3.2.3 Fase 3. Entrada al escenario e inicio del estudio 137
3.2.4 Fase 4. Recogida y análisis de la información 138
3.2.5 Fase 5. Retirada del escenario 139
3.2.6 Fase 6. Elaboración del informe 140
3.3 Informantes 140
3.4 Descripción del contexto 141
3.5 Instrumentos de la investigación 143
3.5.1 Instrumentos de primer orden 144
3.5.2 Instrumentos de segundo orden 145

CAPÍTULO IV. COMPENDIO DE PUBLICACIONES 148

4.1. Justificación de las publicaciones 148

4.2 El compendio de publicaciones 157

4.2.1 Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y resolución de problemas en las aulas de ciencias. (Comunicación en 30 ECDE). 157

4.2.2 Análisis para la implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y la resolución de problemas en las aulas de ciencias. 165

4.2.3 Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. 183

4.2.1 ¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno? Programación de sensores para la medida de parámetros fisicoquímicos en Educación Secundaria. Situaciones de aprendizaje en patrimonios naturales. 201

4.2.2 ¿Cómo es el río Tinto y su entorno?: Ecosistema y su geología en Educación Secundaria. Situaciones de aprendizaje en patrimonios naturales..... 225

4.2.3 ¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?: Patrimonios controversiales y pensamiento histórico en Educación Secundaria. Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales 247

4.2.4 The concept of pH and its logarithmic scale: A Micro Bit experience through inquiry, modeling, and computational thinking 267

4.2.5 Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria. 279

4.2.6 Developing computational thinking through understanding the pH concept: A study with Micro Bit in secondary education. 281

4.2.7 Las emociones académicas y su origen: Un estudio de caso relacionado con un proyecto STEAM contextualizado en el río Tinto como patrimonio controversial. 297

4.2.8 Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: Un estudio de caso sobre patrimonios controversiales. 314

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 333

5.1 Integración metodológica: indagación, modelización y pensamiento computacional en propuestas interdisciplinarias 333

5.2 Diseño e implementación de la secuencia didáctica e implementación conjunta de la indagación, modelización y pensamiento computacional en un patrimonio controversial..... 338

5.2.1 Diseño y desarrollo de la secuenciación didáctica en una situación de aprendizaje 338

5.2.2 Implementación de la propuesta a través de la indagación, modelización y pensamiento computacional..... 342

5.2.3 El pensamiento computacional, la indagación y la modelización para la comprensión de contenidos científicos abstractos..... 346

5.3 Desarrollo del pensamiento computacional y de las competencias digitales 350

5.4 Emociones académicas: implicación y aprendizaje 352

5.5 Pensamiento crítico y argumentación en contextos STEAM a través de una controversia patrimonial..... 356

5.6 Limitaciones y proyecciones educativas 358

5.7 Contribuciones de la propuesta a la tercera visión de la alfabetización científica crítica 362

5.7.1 Dimensión Disciplinaria 362

5.7.2 Dimensión Aplicada 363

5.7.3 Dimensión Fundamental..... 364

CHAPTER V. DISCUSSION AND CONCLUSIONS 365

5.8 Methodological Integration: Inquiry, Modeling, and Computational Thinking in Interdisciplinary Proposals 365

5.9 Design and Implementation of the Didactic Sequence and Joint Integration of Inquiry, Modeling, and Computational Thinking in a Controversial Heritage Context..... 370

5.9.1 Design and Development of the Didactic Sequence within a Learning Scenario 370
5.9.2 Implementation of the Proposal through Inquiry, Modeling, and Computational Thinking 373
5.9.3 Computational Thinking, Inquiry, and Modeling for the Understanding of Abstract Scientific Concepts 378
5.10 Development of Computational Thinking and Digital Competence 382
5.11 Academic Emotions: Engagement and Learning 384
5.12 Critical Thinking and Argumentation in STEAM Contexts through a Heritage Controversy 387
5.13 Educational limitations and future projections 389
5.14 Contributions of the Proposal to the Third Vision of Critical Scientific Literacy 393
5.14.1 Disciplinary Dimension 393
5.14.2 Applied Dimension 394
5.14.3 Fundamental Dimension 395

Referencias 397

Anexo(s) 427

Esta tesis doctoral forma parte del proyecto "La controversia socio científica del Río Tinto como recurso para la generación de identidad en los estudiantes: ¿Conservar o restaurar?", aprobado en la convocatoria 2022/2023 para proyectos de innovación docente e investigación educativa de la Universidad de Huelva. Además, la presente tesis forma parte del programa oficial interuniversitario de doctorado en enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales, ciencias sociales, matemáticas y actividad física y deportiva. Vinculado a los proyectos de I+D EPITEC2 "Patrimonio Controversial para la Educación Eco-Social" (PID2020-116662GB-100), financiado por el MCIN/AEI/10.13039/501100011033, y "Conocimiento Especializado en la Formación del Profesorado para Matemáticas, Ciencias Experimentales y Ciencias Sociales (MTSK-STSK-SCTSK)" (ProyExcel_00297), respaldado por la Junta de Andalucía, la investigación está vinculada a COIDESO (Centro de Investigación en Pensamiento Contemporáneo e Innovación para el Desarrollo Social) y al Grupo de Investigación DESYM (Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas) y al Grupo de Investigación Marismas y Playas (RNH 358).

Proyecto I+D+i PID2020-116662GB-I00, financiado por MICIU/ AEI/10.13039/501100011033/

ProyExcel_00297, financiado por la Junta de Andalucía

Declaración personal de no plagio

Yo, D. Alejandro Carlos Campina López, con DNI 48938686E, estudiante del Programa Oficial de Doctorado en "Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas y de la Actividad Física y Deportiva", como autor de este documento académico, titulado: "El Pensamiento Crítico desde un aula STEAM. Una controversia patrimonial a través del Pensamiento Computacional, Indagación y Modelización". Declaro que: el documento presentado es fruto de mi trabajo personal, que no copio, no utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier obra, artículo, memoria, etc., (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo de texto como en la bibliografía. Asimismo, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Huelva, 2025

CAMPINA LOPEZ ALEJANDRO CARLOS - 48938686E

Firmado digitalmente por CAMPINA LOPEZ ALEJANDRO CARLOS - 48938686E
Fecha: 2025.07.08 18:51:38 +02'00'

Fdo. Alejandro Carlos Campina López

Agradecimientos y dedicatorias

Decía J.R.R. Tolkien que no todos los que vagan están perdidos. A quienes me acompañaron en este viaje, incluso sin saber adónde iba, quiero darle las gracias por recordarme que los caminos inciertos también conducen a casa. Y mi casa no es un agujero en el suelo, y tampoco un habitáculo provisto de techo y paredes. Mi casa, mi hogar, es la gente que, a sus hombros, me han traído hasta aquí y han formado, de buen grado, parte de este viaje.

Permítanme que estas primeras líneas se las dedique a mi padre. Aunque él nunca pueda leer esto, ni ver con orgullo el camino que ha recorrido su hijo pequeño, me gustaría dejar aquí constancia de lo mucho que ha hecho y sigue haciendo por mí. Ojalá pudiera llegar a ser tan bueno como lo fue mi padre. Esta tesis es por y para ti pues, de algún modo, no sólo soy gracias a ti, si no que soy como soy gracias a ti. Por eso siempre, de algún modo, estarás conmigo, aunque no puedo evitar echarte de menos todos los días de mi vida, papá.

Gracias a mi madre, por estar siempre ahí, por cuidarme, aguantarme en los diferentes estadios de mi desarrollo personal, académico, laboral y emocional. Por quererme siempre tanto. Por dar mucho por y para mí. Siempre te estaré agradecido y me alegra mucho verte orgullosa de todo lo que he ido consiguiendo en la vida.

Gracias a mi hermano, mi único hermano y mi mejor amigo. La persona, junto con mi madre, con la que más tiempo he compartido y más momentos he vivido. Eres el inquebrantable pilar de mi vida que nunca ha cedido un milímetro. Saber que siempre estarás a mi lado, pase lo que pase, es lo que más me alivia el alma. Ojalá sepas y, tengas por seguro, que siempre estaré para ti, para tu mujer y para tu hija.

Hablando de grandes y mejores amigos, sé que no computa como persona y entiendo que esto les pueda parecer extraño, pero, permítanme acordarme también de mi inseparable compañero en este viaje: mi perrito Duke. Como comprenderán, no escribo esto para pretender que él lo entienda. Lo hago para recordarme a mí mismo, dentro de muchos, muchísimos años… cuando él ya no esté a mi lado, leer estas líneas y hacer patente cuánto le quise y cuánto ha significado para mí, en el día a día y durante las largas noches, a lo largo de los años de escritura de esta tesis. Nunca me olvidaré de ti, amigo mío.

Pero mi hogar no sólo está compuesto por las personas y seres queridos que conforman mi núcleo familiar. Mi hogar son mis compañeros y compañeras, con quienes he conseguido

labrar una sincera y estrecha amistad. Aquellas personas que, en el día a día, me han otorgado su tiempo, su confianza, su ayuda, sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su cariño. Siempre ha sido así desde el primer momento que entré en la Facultad de Educación de la Universidad de Huelva.

Una universidad que tiene por lema "atrévete a saber" y, aunque el camino no ha sido fácil, siento que realmente me atreví. En este sentido, ya Tolkien expresó el riesgo —y el valor— que implica atreverse a emprender cualquier aventura: "*pones un pie en el camino y, si no cuidas tus pasos, nunca sabes dónde te pueden llevar*". Es así como quiero brindar ahora unas extendidas palabras a mis padres académicos, mis directores de tesis, aquellos que no sólo me marcaron el camino, sino que, además, he tenido la gran suerte de lo recorrieran siempre a mi lado, cuidando cada paso.

Antonio y Mariángeles, con muchísimo respeto y admiración, os tutearé en esta dedicatoria, pues, con orgullo, os considero mis grandes amigos y compañeros. Quiero subrayar que, ambos, habéis sido las personas que más confianza depositaron en mis capacidades y, también, las que más paciencia han tenido conmigo (confieso a veces no haberlo puesto nada fácil). Ambos me ayudaron a acertar y me permitieron equivocarme, para aprender más y que cada paso atrás fuera solo un impulso para poder llegar más lejos. Es pertinente recalcar que, si he llegado hasta aquí, en grandísima parte es por vuestra culpa. Esta tesis no es sólo el reflejo de nuestro trabajo y dedicación pues, también es reflejo de lo que significa hacer sentir constantemente a alguien apoyado, querido, valorado y apreciado.

Antonio, eres la persona que siempre apostó por mí. Me siento muy afortunado de tener tu amistad y de aprender y trabajar a tu lado. Contigo sé que los imposibles no existen, y cuando existen, siempre hay un plan B, C, D, E… que ponen a los imposibles en entredicho. Me enseñaste a estar y saber estar siempre. A dar pasitos hacia adelante. A ser buen compañero y profesional. A comprender la filosofía de nuestro trabajo, del departamento, de la universidad y de lo importante que es crecer con y para los demás. Imposible encontrar términos tan superlativos para expresar lo mucho que te quiero, te admiro, te debo y te aprecio. Es por tu amistad, tu tiempo, tu cariño, por tu apoyo incondicional y tu constante predisposición, por la que te estaré siempre eternamente agradecido.

Mariángeles, señora directora de tesis y muy pronto señora catedrática, con sinceridad y humildad, me siento muy afortunado de tenerte cerca y me siento muy orgulloso de tener tu amistad, tu confianza, tu experiencia, tu ayuda y tu respaldo. Me has visto crecer física y

académicamente durante más de 10 años, y me has apoyado siempre con tu alegría y tu sonrisa. Eres una gran referente para mí y no sólo en lo profesional. Tu forma de ser, tu compañerismo, tu cercanía, tu simpatía, así como tu forma de afrontar el día a día, nos inspiran a ser mejores profesionales y personas, y eso hace normal, lógico y muy fácil que todo el mundo te aprecie tanto. Todos somos muy conscientes de lo mucho que nos cuidas a través de tu constante trabajo, tu persistente compromiso y tu permanente dedicación. Me has hecho sentir muy querido y me has ayudado a mejorar en todos los aspectos, haciéndome saber que puedo contar contigo. Y eso no tiene precio. Ojalá algún día pueda devolverte tanto como me has dado. Siempre podrás contar conmigo y te estaré eternamente agradecido.

Del mismo modo, hago de forma extensiva mi infinito aprecio, cariño y gratitud a todos mis compañeros y compañeras, con quien comparto charlas con café y, algún que otro dulce, cada mañana a las 11:00. Son ustedes mi otro hogar dentro del Departamento de Didácticas Integradas. Permítanme agradecer especialmente a Yolanda, Raquel, Sergio y Elisa, por su constante apoyo y colaboración en esta tesis. Valoro mucho teneros cerca. Gracias por estar siempre ahí. En especial a ti, Eli, mi mejor amiga y mi compañera en todos los ámbitos de la vida. Me siento muy afortunado y orgulloso de contar contigo. Me has ayudado como nadie a recorrer este camino. Te quiero y te admiro a partes iguales. Gracias por tantísimo y, estamos en contacto.

Quería recordar y hacer especial mención a los profesores y al equipo directivo del Colegio María Auxiliadora de Valverde del Camino y a su alumnado, por ser tan geniales. Concretamente, a Juanma Gemio, Riotinteño del año y del que tengo la suerte de poder considerarme su amigo. Gracias por todo y gracias, por tanto, Juanma.

Moje drage Marija i Sanja, mis tutoras, compañeras y amigas en mi estancia en la Facultad de Pedagogía de Sombor, en Serbia. Vosotras también sois mi hogar. Hvala lepo, por enseñarme y ayudarme tanto, y por hacerme sentir como en casa. Espero y deseo que nunca perdamos el contacto, y que podamos seguir trabajando juntos en futuros proyectos. Me tendréis siempre disponible y predispuesto a lo que necesitéis. Volim vas puno, mnogo.

Me gustaría acabar estos agradecimientos como empecé: con el profesor Tolkien. Esta tesis supone un punto y aparte en un capítulo de mi vida. No sé qué me depara el futuro pero, como diría J.R.R. Tolkien: "*lo único que podemos decidir es qué hacer con el tiempo que se nos ha dado*". Espero que, en mi caso, pase lo que pase y, esté donde esté, siempre pueda sentirme cerca de mi hogar.

RESUMEN

Esta tesis doctoral se enmarca en el contexto de la educación científica actual, que demanda propuestas pedagógicas integradoras, críticas y emocionalmente significativas, orientadas a la formación de una ciudadanía científicamente alfabetizada. Se inscribe además en el marco de investigaciones basadas en el diseño de secuencias didácticas. Desde esta perspectiva, se plantea el diseño, implementación y evaluación de una situación de aprendizaje interdisciplinar basada en el enfoque STEAM, articulada a través de problemas socio-científicos vinculados al patrimonio controversial del río Tinto (Huelva, España), convertido en centro de interés para el alumnado. La propuesta se estructura mediante una secuencia didáctica que vertebra de forma conjunta tres metodologías clave: la indagación científica, la modelización y el pensamiento computacional.

El objetivo general del estudio es investigar, diseñar, implementar y analizar los elementos clave que debe reunir una propuesta didáctica para fomentar el desarrollo del pensamiento crítico del alumnado mediante el análisis de una problemática real y compleja desde una perspectiva interdisciplinar. A su vez, se persigue analizar las emociones académicas surgidas durante la programación, construcción y uso de sensores, así como las emociones vinculadas al trabajo con el patrimonio controversial del entorno y a la experiencia educativa en su conjunto.

La investigación adopta un enfoque cualitativo dentro del paradigma sociocrítico, articulado como estudio de caso y desarrollado en tres fases: diagnóstico y análisis teórico, diseño e implementación de la propuesta, y análisis de resultados. La primera fase incluyó una revisión de literatura especializada y un estudio bibliométrico para fundamentar teóricamente la propuesta y definir los elementos esenciales de su diseño. Se establecieron las bases conceptuales y metodológicas de las tres metodologías integradas, así como su conexión con el enfoque STEAM y los retos actuales de la educación científica.

En la segunda fase se diseñó, aplicó y documentó una secuencia interdisciplinar desarrollada durante dos semanas con 27 discentes de 4º de ESO. La propuesta integró actividades de programación y uso de sensores, trabajo de campo, modelización, exploración histórica y patrimonial, y un debate argumentado sobre la intervención en el entorno. Todo ello permitió abordar de forma transversal contenidos de Biología y Geología, Física y Química, y Geografía e Historia, al tiempo que se promovieron competencias

científicas, digitales y ciudadanas, y se propició la expresión de emociones y reflexiones del alumnado.

En la tercera fase se analizaron los datos recogidos, centrándose en el pensamiento crítico, la argumentación y las emociones académicas, lo que permitió identificar obstáculos y elementos clave para una posible transferencia de la experiencia a otros contextos educativos. Los resultados muestran que la integración metodológica, contextualizada en un patrimonio controversial, favorece el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico ante dilemas socioambientales, la mejora de competencias digitales y la generación de emociones académicas. Estas incluyeron emociones epistémicas vinculadas a la indagación, de logro asociadas al uso de tecnologías, y temáticas relacionadas con el patrimonio, lo que impulsó el compromiso del alumnado, la conciencia ética y el sentido de pertenencia social.

Se concluye que la secuencia diseñada e implementada contribuyó de manera significativa al desarrollo integral de la alfabetización científica. Promovió una comprensión profunda de conceptos y procedimientos (dimensión disciplinar), favoreció la transferencia de aprendizajes a contextos reales mediante una controversia patrimonial (dimensión aplicada) y potenció el pensamiento crítico, la autorregulación emocional y el compromiso ético del alumnado (dimensión fundamental), avanzando hacia una alfabetización científica crítica y transformadora.

Palabras clave

pensamiento crítico, STEAM, pensamiento computacional, enseñanza de las ciencias, indagación, modelización, patrimonios controversiales, alfabetización científica, argumentación

ABSTRACT

This doctoral thesis is framed within the context of current science education, which demands integrative, critical, and emotionally meaningful pedagogical approaches aimed at developing a scientifically literate citizenry. It is also situated within the field of research focused on the design of didactic sequences. From this perspective, the study proposes the design, implementation, and evaluation of an interdisciplinary learning situation based on the STEAM approach, structured around socio-scientific issues linked to the controversial heritage of the Tinto River (Huelva, Spain), which serves as a central theme for student inquiry. The proposal is articulated through a didactic sequence that jointly integrates three key methodologies: scientific inquiry, modelling, and computational thinking.

The general aim of the study is to investigate, design, implement, and analyse the key elements a didactic proposal must include to foster students' critical thinking through the exploration of a real and complex problem from an interdisciplinary perspective. In parallel, it seeks to analyse the academic emotions that emerged during the programming, construction, and use of sensors, as well as those linked to the work with the controversial heritage and the overall learning experience.

The research adopts a qualitative approach within a socio-critical paradigm, articulated as a case study and developed in three phases: diagnosis and theoretical analysis, design and implementation of the proposal, and analysis of results. The first phase involved a review of specialised literature and a bibliometric study in order to theoretically underpin the didactic design and identify the essential elements for its development. This phase enabled the definition of conceptual and methodological foundations for the three methodologies involved, and their integration into the STEAM approach in response to current challenges in science education.

In the second phase, an interdisciplinary sequence was designed, implemented, and documented over two weeks with 27 students in the final year of compulsory secondary education (ESO). The proposal included programming and sensor-based activities, fieldwork, physical modelling, historical and heritage exploration, and a structured debate on potential environmental interventions. This combination allowed for the cross-curricular integration of content from Biology and Geology, Physics and Chemistry, and Geography and History, while fostering scientific, digital, and civic competencies, and encouraging students' emotional expression and reflection.

In the third phase, the collected data were analysed with a focus on critical thinking, argumentation, and academic emotions. This analysis identified both obstacles and key elements for the potential transfer of the experience to other educational contexts. The results show that the methodological integration, contextualised in a controversial heritage site, supports the development of critical thinking skills in the face of socio-environmental dilemmas, enhances digital competencies, and triggers diverse academic emotions. These included epistemic emotions linked to inquiry, achievement emotions associated with the use of technology, and thematic emotions related to the heritage topic—fostering student engagement, ethical awareness, and a sense of social belonging.

In conclusion, the implemented sequence significantly contributed to the comprehensive development of scientific literacy. It promoted a deep understanding of concepts and procedures (disciplinary dimension), facilitated the transfer of knowledge to real contexts through a heritage controversy (applied dimension), and enhanced critical thinking, emotional self-regulation, and ethical engagement (foundational dimension), thus advancing toward a more critical, committed, and transformative scientific literacy.

Keywords

critical thinking; STEAM; computational thinking; science education; inquiry-based learning; modelling; controversial heritage; scientific literacy; argumentation.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Estructura de la investigación

Esta tesis se estructura en cinco capítulos, siguiendo una lógica que combina el desarrollo conceptual, el diseño metodológico y la presentación y discusión de los resultados a partir de un compendio de publicaciones, y que se desglosan a continuación, ofreciendo una visión general de cada uno.

En el Capítulo 1, titulado Introducción, se presentan las motivaciones personales, académicas y profesionales que han dado origen a esta investigación y que están fundamentadas en el compromiso educativo, científico y social con la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva crítica, interdisciplinar y comprometida con el entorno. Se expone el contexto que justifica la relevancia del estudio, incluyendo el marco institucional y curricular, así como la experiencia internacional vinculada. También se describe la modalidad de la tesis por compendio de publicaciones y se explicita el compromiso ético con los participantes y con la sociedad.

El Capítulo 2, correspondiente al Marco Teórico, recoge los principales referentes conceptuales que fundamentan la investigación. Se organiza en diez bloques interrelacionados que abordan los pilares sobre los que se asienta el estudio: indagación, modelización, pensamiento computacional, el enfoque STEAM, emociones académicas, el pensamiento crítico y la argumentación son algunos ejemplos. Cada apartado se ha desarrollado a partir de la revisión de literatura especializada, incorporando investigaciones nacionales e internacionales y en diálogo con los marcos conceptuales presentes en las publicaciones del compendio. Este capítulo no solo aporta definiciones, sino que también plantea modelos teóricos y buenas prácticas para entender de forma aplicada cada una de las dimensiones abordadas. Asimismo, una vez desarrollado el marco teórico, se incluye aquí la formulación de la problemática de investigación y los objetivos generales y específicos, como nexo entre la fundamentación teórica y el diseño metodológico posterior.

En el Capítulo 3 se presenta el Marco Metodológico. Aquí se explica con detalle el enfoque de investigación y sus principales características donde, además, se plantea una secuencia metodológica dividida en tres grandes fases: diagnóstico y fundamentación teórica, diseño e implementación de la propuesta didáctica y evaluación y análisis de resultados. A partir de estas tres fases generales, se desglosan y se describen seis fases interrelacionadas que responden a un proceso constructivista/cualitativo y a los principios

de la investigación-acción. Asimismo, se presenta también el contexto del estudio, el perfil del alumnado participante, y se detallan los instrumentos de recogida y análisis de información.

En el Capítulo 4 se expone y desarrolla el Compendio de Publicaciones. Este capítulo recoge las once contribuciones científicas que conforman el corpus de resultados de esta tesis. Cada publicación da respuesta a uno o varios objetivos específicos del estudio y ha sido validada por procesos de revisión académica en congresos, capítulos de libro y revistas indexadas. El orden de las publicaciones respeta la lógica de las fases metodológicas descritas.

El Capítulo 5, Discusión y conclusiones, integra los resultados obtenidos en las distintas publicaciones, organizándolos en torno a los objetivos específicos del estudio. En este capítulo se desarrolla una reflexión crítica y argumentada sobre las principales contribuciones del trabajo. Además, se identifican las aportaciones más significativas del estudio a la práctica educativa, se reconocen las limitaciones del proceso investigativo y se abren nuevas líneas de indagación futuras.

Así, la estructura de esta tesis responde al propósito de comprender cómo una controversia patrimonial puede convertirse en el eje vertebrador de una situación de aprendizaje interdisciplinar STEAM, sustentada en la indagación, la modelización y el pensamiento computacional, con el fin de favorecer el desarrollo del pensamiento crítico del alumnado.

1.2 Motivaciones: una tesis que brota de la Tierra

Esta tesis no surge únicamente de una inquietud académica, sino de una convicción profundamente personal que brota, de algún modo, de la Tierra. Mi formación inicial como graduado en geología marcó una manera distinta de observar el mundo, de preguntarme por lo que hay bajo nuestros pies, por el origen y la evolución de los paisajes, por los recursos que nos sustentan y por los riesgos que habitamos sin saberlo. En mi Trabajo Fin de Máster de profesorado en Secundaria ya me aproximé a la necesidad de formar a ciudadanos “geoalfabetizados”, conscientes de la importancia de las Ciencias de la Tierra en un mundo cada vez más dependiente de los recursos geológicos e hídricos.

Durante aquellos años, la constatación de la escasa presencia de la geología en los currículos escolares y en los libros de texto, así como la limitada producción investigadora en didáctica de las Ciencias de la Tierra, despertó en mí una necesidad urgente: poner en

valor la alfabetización geocientífica como parte esencial de la formación ciudadana del siglo XXI. Esta inquietud se vio reforzada por las consignas al respecto de organismos internacionales como la UNESCO o la *National Science Foundation* (NSF), y especialmente por la figura de Emilio Pedrinaci, cuya defensa férrea de la geología en el sistema educativo español dejó una profunda huella en mí.

De esa pasión por la geología y la enseñanza de las ciencias surgió una segunda pasión: investigar. Investigar el qué enseñar, cómo enseñar y el para qué enseñar ciencias. En este sentido, comencé a comprender que hablar de alfabetización científica hoy no puede limitarse al dominio conceptual de contenidos de ciencias experimentales, sino que implica formar a personas teniendo en cuenta diferentes ámbitos sociales, históricos y culturales, para que sean capaces de pensar críticamente sobre el mundo, de cuestionar, argumentar, tomar decisiones y actuar en consecuencia en un mundo cada vez más dependiente de las tecnologías y castigado por la mala gestión de los recursos y el maltrato al medioambiente y a nosotros mismos.

Pero entonces, ¿qué significa realmente estar alfabetizado científicamente? ¿Qué hay que aprender para lograrlo? Y, de forma paralela, ¿qué debemos enseñar? Este fue el punto de partida de un viaje que encontró su cauce natural en un proyecto de transferencia con el río Tinto, un río de la provincia de Huelva, como eje articulador. Un lugar simbólico y real a la vez, un paisaje minero y marciano, un patrimonio controversial y didáctico.

1.3 Justificación y contextualización

¿Cómo preparar al alumnado para desenvolverse en un mundo interconectado, promoviendo la comprensión de diferentes perspectivas, la interacción respetuosa y el compromiso con la sostenibilidad y el bienestar común? Esta pregunta, formulada por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) en el 2015, 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, como el razonamiento y el pensamiento crítico (Ananda et al., 2023). También, esta cuestión converge con el objetivo 4.7. de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible desarrollada por la Organización de Naciones Unidas, en materia de educación (ONU, 2015). Y, además, se alinea con la actual visión de la alfabetización científica, asumiendo que la ciencia escolar implica un mayor compromiso social e impacto ciudadano, destacando la importancia de la reflexión crítica y la participación ciudadana en cuestiones socio-científicas y en contextos socioculturales (Sjöström, 2013; Sjöström y Eilks, 2018).

En una aproximación a querer dar una respuesta a la compleja pregunta de la OCDE, autores como Beniermann et al. (2021), postulan el desarrollo del pensamiento crítico como un objetivo del siglo XXI, donde la negación de la ciencia plantea un desafío constante y creciente para la sociedad y la educación científica. Esta necesidad se hizo mucho más relevante cinco años después, cuando la pandemia provocada por el COVID-19 puso de relieve las vulnerabilidades, brechas y desigualdades tanto de la sociedad como en el sistema educativo (Valladares, 2021). La UNESCO (2020), presentó nueve grandes ideas para construir los cimientos de la educación postpandemia. Entre estas ideas se planteaba la necesidad de "garantizar la educación científica dentro del currículo, particularmente mientras luchamos contra la negación del conocimiento científico y luchamos activamente contra la desinformación" (UNESCO, 2020, p. 6).

La circulación de afirmaciones pseudocientíficas no contrastadas y bulos hace que el pensamiento crítico 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 a que su práctica no esté muy extendida (Blanco-López et al., 2017; Larsson, 2017). Solbes y Torres (2013) ya asociaban estos factores a la descontextualización, a la falta de formación, a la mala utilización de las conocidas TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) y a una enseñanza unidireccional de la ciencia, lo que precisa que el alumnado, a través de su participación en foros y debates, utilice temas socioambientales que proporcionen un sentido real al aprendizaje de los contenidos científicos, promoviendo la argumentación y su relación con aspectos éticos. Desde esta perspectiva, se considera que la sociedad contemporánea, fuertemente influenciada por la ciencia y la tecnología, requiere una ciudadanía capaz de conocer, comprender, tomar decisiones informadas frente a los dilemas éticos que estas generan desarrollando una visión crítica, concienciada y comprometida con los avances científico-tecnológicos, sin perder de vista su interrelación con otras dimensiones sociales, como los aspectos socioculturales e históricos (Figueroa-Céspedes et al., 2020; Valladares, 2021).

El aprendizaje de las ciencias integrado en STEAM (o STEM, sin las artes) (*Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics* – Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) puede aumentar el interés del estudiantado, promover la alfabetización científica y las habilidades de pensamiento crítico del alumnado en educación secundaria donde se da una mayor influencia en las habilidades de educación científica y de pensamiento crítico (Colucci-Gray et al., 2017; Nilyani et al., 2023; Vieira y Tenreiro-Vieira, 2016). El interés por la educación STEAM presenta muchas oportunidades y desafíos. Su

carácter multidisciplinar e integrador facilita el desarrollo de competencias, fomentando la capacidad de reconocer, aplicar y articular los métodos, el pensamiento y el lenguaje propios de la ciencia para analizar, tomar decisiones y actuar frente a problemas complejos, aprovechando los recursos tecnológicos disponibles (Couso, 2017; Lupión-Cobos et al., 2020). La integración de la tecnología en la enseñanza de las ciencias es una realidad ineludible al mismo tiempo que una oportunidad para en la inclusión educativa de acuerdo con el DUA (Diseño Universal para el Aprendizaje) (Lupión-Cobos et al., 2020). Sin embargo, estudios exponen la falta de formación del profesorado de secundaria que, a diferencia del de primaria, suele carecer de formación en diversas áreas de conocimiento y en metodologías específicas para su enseñanza (Park et al., 2016). Además, la falta de tiempo y la sobrecarga de trabajo dificultan la planificación y realización de actividades y la creación de materiales para una enseñanza interdisciplinar (English, 2017; Kim y Bolger, 2017; Park et al., 2016). Estas barreras limitan la integración de un enfoque STEAM en las aulas para transformar el conocimiento teórico en práctico (Tunc y Bagceci, 2020), cuyo potencial radica en el desarrollo del pensamiento crítico y de habilidades como la resolución de problemas, la creatividad, y el pensamiento computacional (Juškevičienė et al., 2021; Thibaut et al., 2018).

En los últimos años, la incorporación de la programación como materia en la enseñanza obligatoria en varios países (Real Decreto 157/2022) ha favorecido la aceptación del pensamiento computacional como un componente esencial en la educación, sin dar tiempo a que se investigue para conocer qué procesos implica, para qué puede ser realmente útil y de qué manera podemos abordarlo en ámbito educativo, más allá de enseñar a programar (Ortega-Ruipérez, 2020). Estudios con enfoque STEAM centrados en la programación computacional destacan mejoras en actitud y motivación, pero también evidencian desafíos en la adquisición de procedimientos científicos y en la comprensión de la programación (Toma y García-Carmona, 2021) y se necesita más investigación para involucrar a los estudiantes en experiencias de aprendizaje significativas (Angeli y Giannakos, 2020). El informe presentado en 2015 por la FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), en colaboración con Google, resalta la importancia de que las nuevas generaciones adquieran conocimientos en Ciencias de la Computación para comprender el funcionamiento, desarrollo y evolución de la tecnología, así como para desarrollar la competencia digital y habilidades esenciales en distintos ámbitos (Olivares de Julián et al., 2016). De esta forma, el pensamiento computacional se postula como un enfoque clave para la resolución de problemas en diversas áreas y no solo en el ámbito

tecnológico (Olivares de Julián et al., 2016), sino también como un tema de interés para la investigación, diseño y desarrollo de innovaciones e intervenciones de la competencia STEAM (Grover y Pea, 2017), como una herramienta eficaz para fomentar las escasas vocaciones científicas que pueda desarrollar en el alumnado las capacidades necesarias para los trabajos del futuro (García-Fuentes, 2022) y como un recurso metodológico que actuaría como vehículo o medio para alcanzar determinados fines en las disciplinas o en las relaciones entre ellas (Quiroz-Vallejo et al., 2021).

De forma análoga y, en el mismo año 2015, la Comisión Europea a través del informe *Science Education for Responsible Citizienship* resaltaba la importancia de que los sistemas educativos y las políticas en el ámbito de la educación prioricen el respaldo a escuelas, docentes y estudiantes para la integración de la indagación, enfocado en las competencias y la interdisciplinariedad, como un elemento central en la enseñanza de las ciencias (Hazelkorn et al., 2015). El modelo de aprendizaje por indagación desarrollado con alfabetización científica mejora efectivamente las habilidades de pensamiento crítico en el alumnado (Sutiani et al., 2021) y se adquieren las competencias STEAM que recoge la normativa educativa (Lupión-Cobos et al., 2020). Según la propia FECYT, existen abundantes pruebas sobre los beneficios de un enfoque indagativo en el aprendizaje de las ciencias y la mejor manera de aprender ciencia escolar es aplicándola a través de las prácticas científicas más recomendadas por la investigación didáctica: indagación, modelización y argumentación (Jiménez-Liso, 2020).

La necesidad de desarrollar el pensamiento computacional junto a la indagación y la modelización en la enseñanza de ciencias hace replantearse cómo y en qué grado se pueden llevar a cabo de forma conjunta. La modelización es clave para la alfabetización científica de los ciudadanos del siglo XXI (Chiu y Lin, 2019), considerándose una actividad esencial de la ciencia erudita y escolar que conlleva expresar, usar, evaluar y revisar dichos modelos como vía para la comprensión generación de conocimiento. En su dimensión instrumental, ayuda en la construcción de procesos de andamiaje que guían los procesos de enseñanza ante tareas como conceptualizar, reflexionar, visualizar, ilustrar, representar, etc. (Oliva, 2021).

Por otro lado, la propia OCDE a través de su marco científico PISA 2025 (OECD, 2023a) evalúa y pone de relevancia las competencias y los conocimientos desarrollados en contextos específicos que plantean cuestiones y opciones que son relevantes para la educación científica y ambiental. Acorde a esto, el currículo andaluz en su orden de 30 mayo (Junta de Andalucía, 2023) puntualiza respecto a las situaciones de aprendizaje que para la

adquisición efectiva de las competencias específicas de cada materia deben proponerse retos o problemas, bien contextualizados a través de situaciones significativas y educativas que fomenten y desarrollen conexiones con las prácticas sociales y culturales de la comunidad. En relación a esto, autores como Sadler (2009), Beniermann et al. (2021) y Sadler et al. (2016), ya consideraban los problemas o cuestiones sociocientíficas (SSI, *Socio-Scientific Issues*) como contextos idóneos para la práctica dentro del aprendizaje situado en la enseñanza de las ciencias, poniendo de relieve la mejora en la participación y la motivación al abordar este tipo de cuestiones o problemáticas. La investigación educativa en SSI ha ido en aumento ligada a cuestiones medioambientales y temas como la argumentación, el razonamiento, la toma de decisiones y el pensamiento crítico (Ban y Mahmud, 2023) e incluso en la mejora de la competencia emocional de los estudiantes (Gao et al., 2019). Integrar STEAM con SSI puede mejorar la alfabetización científica y conectar la ciencia con los problemas del mundo real, beneficiando al alumnado en contextos sociales e interculturales (Mang et al., 2021). Y, a pesar de que Bossér y Lindahl (2019) consideran que la integración de los SSI en la enseñanza de las ciencias no es una tarea fácil para el profesorado de ciencias, se reconoce como una necesidad para enfatizar las prácticas dialógicas en el aula, incluyendo las opiniones de los estudiantes junto con diversas perspectivas sobre diferentes temas y múltiples fuentes de conocimiento.

Pero ¿qué problemas o contextos deberíamos trabajar en las aulas de ciencias? Estepa (2024) y Estepa y Martín-Cáceres (2018), plantean la necesidad de incorporar en los procesos de enseñanza los llamados patrimonios controversiales para “la formación de una ecociudadanía sociocrítica, activa y participativa”. A través del análisis de elementos patrimoniales, el alumnado puede fortalecer sus habilidades de observación e indagación (Caudo et al., 2023), abordando problemáticas sociales, económicas, históricas, culturales y medioambientales, locales o actuales, desde diversas áreas del conocimiento (Trabajo y Cuenca-López, 2022), y además fortalecer la inteligencia emocional y territorial, conectándolas con la identidad y la ciudadanía, ya que los lazos identitarios fomentan el reconocimiento individual y colectivo (Cuenca et al., 2021). Esta perspectiva no solo responde a planteamientos teóricos o investigativos, sino que está en línea con lo que exige el propio currículo andaluz, que establece la necesidad de contextualizar el desarrollo de competencias y saberes básicos a través de contenidos vinculados a la realidad, riqueza y patrimonio natural y cultural de Andalucía, lugar donde se desarrolla este estudio, en los distintos bloques temáticos (Junta de Andalucía, Orden de 30 mayo de 2023).

De este modo, los patrimonios controversiales se presentan como una fuente de conocimiento en constante evolución que implica el desarrollo de capacidad cognitiva y de pensamiento crítico, que impulsa el diálogo y desafía concepciones previas, permitiendo a través de la reflexión, el análisis, la empatía, la solidaridad, la cooperación y, así, formar un pensamiento regido en criterios de justicia y autorregulación, haciendo posible evaluar las estructuras actuales y propiciar cambios sistémicos hacia una sociedad más justa e igualitaria (Cuenca, 2014; Gómez-Hurtado y Cuenca, 2022; Martín Cáceres et al., 2021). Además, estos elementos patrimoniales seleccionados didácticamente suscitan dilemas, debates o conflictos sociales (Arroyo-Mora et al., 2022; Estepa, 2024; Sampedro-Martín et al., 2022) postulándose como un recurso ideal para trabajar emociones, ya que estas influyen en su valoración y reconocimiento comunitario (Gómez-Villar y Canessa-Vicencio, 2019; Gómez-Hurtado y Cuenca-López, 2022).

Existe una creciente demanda de orientaciones metodológicas más diversas para comprender plenamente las emociones en la secuenciación de actividades de las situaciones de aprendizaje de las ciencias (Davis y Bellocchi, 2020; M. R. Jiménez-Liso, Chico, et al., 2023). En el campo de las ciencias experimentales, la puesta en marcha de metodologías contextualizadas basadas en la indagación, con un desarrollo experimental y creativo, centradas en la comprensión del contenido y en el desarrollo de habilidades, generan alfabetización científica en el aula, así como un cambio de motivación del alumnado hacia la las asignaturas de ciencias (Busquets et al., 2016; Gómez Castillo et al., 2017). Aunque las emociones desempeñan un papel crucial en la motivación, el interés y el compromiso con STEM, durante la educación secundaria se observa una notable disminución de las actitudes positivas hacia estas disciplinas (Martínez-Borreguero et al., 2019). El aprendizaje de los conocimientos académicos resulta más efectivo cuando el alumnado desarrolla competencias emocionales, por lo que es esencial identificar y regular sus emociones, considerando tanto los aspectos afectivos como los cognitivos. Es ahora cuando las emociones comienzan a formar parte de la agenda de investigación en didáctica de las ciencias, pero se trata poner el interés las emociones y la razón y de entender cómo se relacionan.

Así, se considera esencial crear, diseñar e implementar secuencias innovadoras para el desarrollo del pensamiento crítico teniendo en cuenta los contextos en la enseñanza y utilizando la tecnología para la formación ciudadana, mediante estrategias activas de aprendizaje (indagación, modelización, argumentación), que aprovechen al máximo las conexiones interdisciplinarias a través del enfoque STEAM, elaborando y utilizando recursos

útiles y accesibles que la hagan efectiva y que generen confianza en los docentes y en sus capacidades para su implementación (Blanco-López et al., 2018; D. Kim y Bolger, 2017; Lupión-Cobos et al., 2020).

Por consiguiente, la Tesis Doctoral que se presenta continúa en la línea de este planteamiento y tiene como propósito mejorar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias a través del desarrollo, implementación y estudio de una secuencia de actividades con un enfoque STEAM enfocado en un patrimonio controversial como centro de interés y con el objetivo de formar y preparar una futura ciudadanía científicamente alfabetizada.

1.4 Estancia internacional

La estancia internacional de investigación se ha desarrollado en dos periodos sumando un total de 3 meses en la *Pedagoški fakultet u Somboru, Univerziteta u Novom Sadu, Vojvodina, Srbija* (Facultad de Educación en Sombor, Universidad de Novi Sad, Voivodina, Serbia). El primer periodo tuvo lugar del 15 de julio al 15 de septiembre de 2023, mientras que el segundo periodo se extendió desde el 1 de agosto al 31 de agosto de 2024. Dicha estancia ha sido cofinanciada por el Grupo de Investigación DESYM (HUM-168 del PAIDI) de la Universidad de Huelva.

Bajo la supervisión de la Profesora Doctora Marija Bosnjak-Stepanovic, con una amplia carrera docente y una labor investigadora centrada en las concepciones alternativas del alumnado de ciencias y en metodología de enseñanza de las ciencias basada en la indagación, se han llevado a cabo diversas producciones y tareas de investigación vinculadas al desarrollo de la tesis doctoral. Se han realizado reuniones con expertos en educación científica, sesiones de trabajo conjunta para la revisión de literatura especializada y análisis de enfoques metodológicos aplicados en distintos niveles educativos. Además, se han desarrollado actividades de intercambio académico, incluyendo ponencias acerca de esta tesis, así como la impartición de conferencias y la participación en eventos educativos STEAM.

La elección de esta facultad no es debido a ser la más puntera e importante de Europa o del propio país, tampoco lo es respecto a mi ámbito de estudio, pero se trata una institución muy antigua, en plena armonización de sus planes de estudio con el sistema educativo de los países europeos, y que está empezando a integrar tecnologías educativas con un enfoque STEAM en su ámbito de estudio. Fruto de ello es la organización de su primer congreso STEAM (*Ist International Scientific Conference Steam + X Approach in Education*,

2024) del que hemos tenido la suerte de poder ser partícipes. La estancia ha significado un estímulo para todos los investigadores implicados, resultando muy enriquecedor en cuanto a compartir con el profesorado las diferentes visiones y enfoques educativos en relación a STEAM en Serbia respecto a la de otros países de la UE, resultando de gran valor para ambas partes. Además, como fruto del primer periodo de estancia, se han llevado a cabo acuerdos de asociación entre la Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte de la Universidad de Huelva y la Facultad de Educación en Sombor, perteneciente a la Universidad de Novi Sad, dentro del programa Erasmus+ KA131 (2023-2029), con el objetivo de facilitar la movilidad de estudiantes y académicos. En relación con el segundo periodo de la estancia, se dieron acuerdos para ampliar la colaboración a los estudios de doctorado, con el propósito de favorecer la movilidad de los estudiantes de doctorado y, además, ambas facultades han acordado establecer una asociación para llevar a cabo proyectos conjuntos de investigación, docencia y transferencia de conocimiento.

1.5 Modalidad de la tesis por compendio de publicaciones

Esta tesis doctoral se acoge a la modalidad de presentación y defensa por compendio de publicaciones, tal como se establece en el artículo 35 del reglamento de estudios de doctorado de la Universidad de Huelva. Este reglamento, aprobado en Consejo de Gobierno el 23 de abril de 2012 y modificado posteriormente los días 19 de diciembre de 2012, 18 de julio de 2014, 30 de octubre de 2018 y 21 de abril de 2022, regula que la tesis debe estar constituida por un conjunto de aportaciones científicas (al menos tres) publicadas o aceptadas para publicación, vinculadas a una misma línea de investigación. Además, la contribución del doctorando en estos trabajos debe ser significativa y estar acreditada por el/los directores de la tesis, y las publicaciones deben cumplir los criterios de evaluación establecidos por la Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI).

En el caso de esta tesis, se presentan cinco artículos científicos, de los cuales cuatro han sido publicados en revistas indexadas en bases de datos internacionales como Scopus o ERIH Plus (Revista APICE, Eurasian Journal of Mathematical and Education Science, Educations Sciences y el correspondiente a la revista EUREKA), mientras que uno está en proceso de revisión en revistas indexadas. Además, se incluyen tres capítulos de libro, elaborados en el marco de la investigación sobre situaciones de aprendizaje interdisciplinarias. Asimismo, se aportan dos comunicaciones orales y un póster que sintetizan la secuencia didáctica desarrollada.

Todas las producciones científicas cumplen con los requisitos establecidos por la CNEAI. Esto se demostrará en el Capítulo 4, donde se incluye un informe detallado del factor de impacto y la relevancia de las publicaciones presentadas. La conexión temática de estas producciones se centra en el estudio interdisciplinar del río Tinto como patrimonio controversial y su aplicación en la enseñanza secundaria, abordando aspectos relacionados con la indagación, la modelización y el pensamiento computacional, así como el análisis de emociones académicas en proyectos STEAM.

Este enfoque permite articular los trabajos en torno a una línea de investigación coherente y alineada con los objetivos de innovación educativa y formación docente, destacando la interdisciplinariedad y el uso de contextos reales como herramientas para el aprendizaje significativo.

1.6 Compromiso ético, buenas prácticas en la investigación y compromiso con la sociedad

A lo largo de todo el estudio se han respetado los principios éticos reconocidos por la comunidad científica, garantizando en todo momento la confidencialidad de los datos recopilados y el anonimato de los participantes. Esto se ha llevado a cabo en cumplimiento de la normativa vigente en materia de protección de datos personales, específicamente lo establecido en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Asimismo, en línea con lo establecido en el Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado, esta tesis suscribe su compromiso con el cumplimiento del Código de Buenas Prácticas en concordancia con los artículos 19, 22 y 25 del reglamento de los Estudios de Doctorado de la Universidad de Huelva en su guía de Buenas prácticas.

En todas las investigaciones en las que ha sido necesaria la colaboración de agentes educativos como informantes, se ha obtenido previamente el consentimiento informado por escrito mediante documentos diseñados para este propósito (Anexo I) y se ha seguido fielmente las normas, protocolos e instrucciones para la protección de datos de carácter personal, guardando la confidencialidad de todos los datos e informaciones, tanto en la Universidad de Huelva como en otros centros donde se ha desarrollado el periodo formativo, con el fin exclusivo de realizar esta tesis doctoral

Los datos y registros obtenidos se almacenarán en el Repositorio Arias Montano de la Universidad de Huelva, asegurando su protección y disponibilidad para la verificación de

la información. Este repositorio ha sido evaluado y validado conforme a las directrices de RECOLECTA (FECYT/MINECO), una plataforma que agrupa todos los repositorios científicos nacionales y que provee de servicios a otros repositorios e investigadores, cumpliendo con los estándares de calidad exigidos. En la actualización de 2019, de los 127 recursos analizados por RECOLECTA, sólo 52 cumplían con todos los requisitos, entre ellos Arias Montano (Morillo Moreno, 2025) (https://guiasbuh.uhu.es/AriasMontano/rankings).

En cuanto al compromiso con la sociedad, esta tesis, junto a las actividades y producciones desarrolladas a partir de la misma, se han presentado mediante una redacción y expresión clara y no restringida. Además, se ha tenido en cuenta el uso de gráficos y diagramas sencillos y accesibles con la finalidad de que puedan ser comprendidas por la sociedad no especialista en aras de mejorar y hacer más accesible la comprensión de la ciencia por parte de la ciudadanía.

1.7 Problemas y objetivos de la investigación

Instituciones internacionales como la *Next Generation Science Standards* (NGSS), el *National Research Council* (NRC), la *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos* (OCDE) y la *Partnership for 21st Century Learning* (P21) han señalado que el pensamiento crítico debe ser considerado una competencia clave para la educación del siglo XXI (NGSS, 2013; NRC, 2012; OECD, 2019; P21, 2009). Del mismo modo, esta necesidad también ha sido respaldada por diversos estudios en el campo de la didáctica de las ciencias (Raj et al., 2022; Shaw et al., 2019; Willingham, 2010; Ying-Yan et al., 2020), que coinciden en destacar la importancia de preparar al alumnado para interpretar, analizar y responder a los retos sociales, medioambientales y científicos desde una perspectiva reflexiva y argumentada.

Este posicionamiento se alinea con los ejes estructurantes del propio currículo del paradigma educativo que establece el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo en materia de educación, donde, dentro de los objetivos para la Educación Secundaria Obligatoria, se promueve el desarrollo de una ciudadanía crítica, participativa y comprometida con los valores democráticos, la igualdad y la sostenibilidad; el fortalecimiento de la dimensión afectiva y la utilización con sentido crítico de fuentes de información; concebir el conocimiento científico como un saber integrado, la consolidación de hábitos de trabajo colaborativo y autónomo; el desarrollo del pensamiento crítico y de la capacidad de aprender a aprender; la alfabetización científica y tecnológica; así como el conocimiento y la

valoración del patrimonio cultural y natural como elementos clave para una comprensión profunda del entorno y de la sociedad (Real Decreto 217/2022, art. 7).

En este escenario, la incorporación de cuestiones socialmente vivas como los problemas sociocientíficos (SSI, por sus siglas en inglés) en la enseñanza de las ciencias se ha consolidado como una estrategia didáctica especialmente efectiva para promover el pensamiento crítico, la alfabetización científica y la participación ciudadana del alumnado en problemáticas relevantes para la sociedad (Beniermann et al., 2021; T. D. Sadler, 2004; Zeidler, 2014; Zeidler et al., 2019). Estas cuestiones permiten situar el conocimiento científico en contextos reales, éticos y controvertidos que requieren toma de decisiones argumentada, posicionamiento activo y diálogo fundamentado (Huddleston y Kerr, 2016; López-Facal, 2011; Pagès, 2019)

Particularmente, el tratamiento educativo del patrimonio controversial emerge como un tipo específico de SSI que conecta directamente con el entorno del alumnado, con sus marcos identitarios y con sus emociones, favoreciendo así una implicación más profunda y significativa (Estepa y Martín-Cáceres, 2018; Martín-Cáceres et al., 2022; Sampedro Martín et al., 2023). Este tipo de enfoque ha demostrado su potencial para promover no solo la comprensión conceptual, sino también la reflexión crítica, el compromiso social y el desarrollo de una ciudadanía ecosocial desde edades tempranas (Arroyo et al., 2022; Arroyo y Cuenca-López, 2021; Martín-Cáceres et al., 2022; Sampedro-Martín, 2024).

Desde esta perspectiva, se hace necesario atender no solo a la dimensión cognitiva del aprendizaje, sino también a la esfera afectiva. Numerosos estudios en el ámbito de la educación científica coinciden en resaltar el papel de las emociones en la construcción del conocimiento, la motivación y la toma de decisiones (Jimenez-Liso et al., 2022; Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2012). En concreto, las emociones académicas (aquellas generadas en contextos de aprendizaje) influyen directamente en la implicación del alumnado, en su aprendizaje, motivación y en su autorregulación, así como en el desarrollo de competencias como la reflexión crítica o la resolución de problemas (Mellado, Borrachero, Brígido, et al., 2014; Pekrun et al., 2002; Pekrun, 2006).

En paralelo, diversas organizaciones internacionales como la UNESCO (2024) o la (OECD, 2019) insisten en que la ciudadanía del siglo XXI requiere nuevas formas de alfabetización, en las que el desarrollo del pensamiento computacional y de competencias digitales resulta clave para comprender y actuar en un mundo cada vez más mediado por la tecnología. Desde esta perspectiva, se defiende la inclusión del pensamiento

computacional no sólo como una destreza técnica, sino como una competencia transversal que permite analizar, modelizar y resolver problemas complejos desde múltiples disciplinas (Angeli y Giannakos, 2020; Bocconi et al., 2016; Li et al., 2020a). Su integración en el currículo, respaldada por normativas como el Real Decreto 217/2022 en el contexto español, busca no solo formar usuarios críticos y creativos de las herramientas digitales, sino también impulsar el pensamiento crítico y científico desde edades tempranas. Sin embargo, investigaciones recientes muestran que muchos docentes aún carecen de una formación adecuada para implementar el pensamiento computacional en el aula, lo que obstaculiza su desarrollo efectivo (González et al., 2018; A. Ogegbo y Ramnarain, 2022).

En este sentido, numerosas investigaciones coinciden en señalar que el desarrollo del pensamiento crítico y la alfabetización científica requiere incorporar prácticas auténticas de las ciencias, como la indagación y la modelización, dentro del aula (Couso, 2014, 2020; Gilbert y Justi, 2018; Jiménez-Liso, 2020; Justi y Gilbert, 2002; Osborne y Dillon, 2008). La indagación permite al alumnado formular preguntas, generar hipótesis, contrastar datos y construir conocimiento a partir de la evidencia (Harlen, 2000; Jiménez-Liso, 2020), mientras que la modelización les posibilita representar, simplificar y explicar fenómenos complejos, facilitando la comprensión profunda de los contenidos científicos (Couso, 2014, 2020; Justi y Gilbert, 2002; Oliva, 2019b, 2021). Sin embargo, diversos estudios alertan de que estas metodologías, aunque ampliamente recomendadas por la investigación, siguen teniendo una presencia limitada en la práctica educativa cotidiana (Couso, 2020).

Para superar esta fragmentación disciplinar y responder de manera coherente a los retos educativos actuales, se hace necesario adoptar un enfoque integrador como el STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*), que promueva una enseñanza interdisciplinar, contextualizada y creativa (Martín-Cudero et al., 2024; Quigley et al., 2017). Este enfoque no solo fomenta el desarrollo de competencias científicas, tecnológicas y digitales, sino que también favorece la conexión con el entorno, el trabajo colaborativo, la creatividad y la resolución de problemas reales (Ozkan y Umdu-Topsakal, 2021; Toma et al., 2019). En especial, se ha subrayado que una propuesta STEAM auténtica debe integrar metodologías activas, contenidos relevantes y una visión crítica de la ciencia, elementos que convergen en el diseño de situaciones de aprendizaje como las planteadas en esta tesis (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024; Mateos-Núñez, 2021; Toma y García-Carmona, 2021; Zamorano et al., 2018).

Así, partiendo de todas estas demandas educativas, de la fundamentación teórica y también de las propuestas metodológicas revisadas, surge la necesidad de diseñar, implementar y analizar una situación de aprendizaje que articule de forma conjunta la indagación, la modelización y el pensamiento computacional como estrategias para promover el pensamiento crítico en torno a una controversia patrimonial. De igual forma, dadas las exigencias del currículo y de numerosas fuentes documentales que han sido consultadas en esta tesis, resulta importante considerar que esta propuesta deba desarrollarse desde un enfoque STEAM y de manera interdisciplinar, con el fin de abordar los problemas científicos, tecnológicos y sociales de forma integrada y holística. La complejidad de este desafío requiere descomponer la pregunta general de investigación en subproblemas específicos que permitan abordar las distintas dimensiones implicadas: desde el desarrollo de competencias digitales y científicas, hasta la argumentación crítica, las emociones académicas y la evaluación del pensamiento computacional en contextos reales. De este modo, se establece una conexión directa entre cada subpregunta, los objetivos específicos y las producciones científicas que componen esta tesis doctoral por compendio, tal y como se recoge en el siguiente apartado.

Así, el propósito central de esta tesis doctoral por compendio es diseñar, implementar y analizar una situación de aprendizaje en la que se integren de forma conjunta enfoques metodológicos como la indagación y la modelización, así como procesos para la resolución de problemas como el pensamiento computacional. El objetivo es analizar cómo esta combinación puede favorecer el desarrollo del pensamiento crítico del alumnado en torno a un contexto significativo: el análisis de un patrimonio controversial desde contenidos de ciencias experimentales y sociales. La pregunta general que guía esta investigación es:

- *¿Qué características debe reunir una situación de aprendizaje interdisciplinar basada en la indagación, la modelización y el pensamiento computacional para favorecer una alfabetización científica integral a través del análisis del pensamiento crítico de una controversia patrimonial trabajada desde contenidos de ciencias experimentales y sociales?*

Para responder a esta cuestión de manera rigurosa y sistemática, se han delimitado siete subproblemas o preguntas específicas de investigación. Estas han guiado tanto la construcción del marco teórico como la articulación del diseño metodológico y el desarrollo de las producciones científicas que conforman el compendio. Son las siguientes:

- P.1. ¿Cómo se caracterizan, a nivel teórico, las metodologías de indagación, modelización y pensamiento computacional y qué elementos clave pueden integrarse para su implementación conjunta en el aula de ciencias?
- P.2. ¿Cómo se diseña e implementa una situación de aprendizaje interdisciplinar basada en la integración de indagación, modelización y pensamiento computacional, tomando como eje una controversia patrimonial?
- P.3. ¿Qué aprendizajes sobre contenidos científico-tecnológicos (como el pH y sus implicaciones medioambientales) se observan en el alumnado tras la implementación de la propuesta?
- P.4. ¿Qué desarrollo de habilidades de pensamiento computacional se evidencia en el alumnado a partir del diseño, programación y uso de sensores aplicados a la medición de parámetros fisicoquímicos?
- P.5. ¿Qué emociones académicas manifiesta el alumnado a lo largo de la secuencia didáctica, y qué papel desempeñan en el aprendizaje?
- P.6. ¿Qué habilidades de pensamiento crítico y argumentación desarrolla el alumnado en el marco de la controversia patrimonial trabajada?
- P.7. ¿Qué problemas, logros y dificultades emergen durante la implementación de esta propuesta metodológica en el aula y qué implicaciones tiene para futuras prácticas educativas y su posible transferencia a otros contextos?

Estas preguntas se abordan en profundidad en los distintos estudios incluidos en la tesis, articulando un recorrido que transita desde la fundamentación teórica hasta la evaluación del impacto de la propuesta, con una clara vocación transformadora y formativa. Como ya se ha señalado en apartados previos, el conjunto de estudios se estructura en tres fases generales (diagnóstico, diseño e implementación, y análisis), desarrolladas a partir de una lógica reflexiva y cíclica propia de la investigación-acción (Elliott, 1993; Kemmis y McTaggart, 2000) y desglosadas con mayor detalle en seis etapas siguiendo la propuesta metodológica de Latorre (2005), que será presentada en el epígrafe 3.5.

Partiendo de la pregunta general planteada en el apartado anterior, esta tesis doctoral se propone alcanzar el siguiente objetivo general (O.G), que guía el conjunto del trabajo realizado a lo largo de las distintas fases de investigación:

- O.G. *Detectar elementos clave (estrategias, actividades, recursos) de una situación de aprendizaje interdisciplinar enmarcada en un enfoque STEAM, en la que se implementen de forma conjunta la indagación, la modelización y el pensamiento*

computacional para el desarrollo del pensamiento crítico, a través del análisis de una controversia patrimonial desde contenidos de ciencias experimentales.

A partir de este objetivo general, se derivan los siguientes nueve objetivos específicos (O.E.), formulados para orientar de manera más concreta y focalizada el proceso de investigación. Cada uno de estos objetivos está alineado con al menos una de las producciones científicas que conforman el compendio, permitiendo dar respuesta parcial, pero sólida, al problema de investigación:

- O.E.1. Investigar cómo se articula el uso conjunto de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional para una propuesta didáctica interdisciplinar.
    - O.E.1.1. Ofrecer definiciones operativas de cada uno de ellos (indagación, modelización, pensamiento computacional). (P.1)
    - O.E.1.2. Ofrecer un modelo pedagógico para enseñar pensamiento computacional en las aulas. (P.1, P.2)
    - O.E.1.3. Conocer a través de qué enfoques, modelos y recursos se pueden trabajar en las aulas de ciencias. (P.1, P.2)
- O.E.2. Diseñar y desarrollar una situación de aprendizaje interdisciplinar para 4º de ESO centrada en el patrimonio controversial del río Tinto, integrando indagación, modelización y pensamiento computacional como ejes metodológicos en la secuenciación didáctica.
    - O.E.2.1. Elaborar un sistema de categorías como instrumento de evaluación cualitativa de segundo orden. (P.2)
- O.E.3. Valorar cómo la implementación conjunta de indagación, modelización y pensamiento computacional contribuye a la adquisición de contenidos científicos abstractos en el marco de una controversia patrimonial. (P.2, P.3)
- O.E.4. Comprender el desarrollo del pensamiento computacional mediante tareas significativas de programación de sensores dentro de una situación de aprendizaje. (P.3)
- O.E.5. Analizar el impacto de la secuencia en el desarrollo de competencias digitales y pensamiento computacional en el alumnado. (P.4)
- O.E.6. Analizar las emociones académicas que emergen en una propuesta interdisciplinar basada en metodologías activas, y cómo estas contribuyen al aprendizaje.
    - O.E.6.1. Conocer y analizar las emociones académicas del alumnado que suscitó la secuencia llevada a cabo y el por qué se manifestaron. (P.5)

    - O.E.6.2. Conocer y analizar las emociones académicas que suscitaron la programación, construcción y uso de las tecnologías y el por qué se manifestaron. (P.5)
    - O.E.6.3. Conocer y analizar las emociones académicas que suscitó trabajar una controversia patrimonial como centro de interés y el por qué se manifestaron. (P.5)
- O.E.7. Analizar el desarrollo del pensamiento crítico del alumnado a lo largo de una secuencia interdisciplinar STEAM, prestando especial atención al uso de metodologías activas, tecnologías educativas y controversias patrimoniales, así como al papel de la argumentación y el debate como herramientas clave en este proceso.
- O.E.8. Analizar los conflictos, logros y dificultades emergentes en la implementación de la propuesta metodológica, valorando sus implicaciones para la mejora de futuras prácticas educativas y su posible transferencia a otros contextos.

Del mismo modo, se expone en la tabla 1, la relación entre las subpreguntas de investigación y los objetivos específicos que se abarcan a través de ellas.

Tabla 1. Asociación de las Subpreguntas de Investigación con los objetivos específicos y Metas

Subpregunta de investigación	Objetivos específicos asociados	Metas
P.1. ¿Qué elementos teóricos y metodológicos se deben considerar para integrar de forma conjunta la indagación, la modelización y el pensamiento computacional en una situación de aprendizaje interdisciplinar?	O.E.1	O.E.1.1, O.E.1.2, O.E.1.3
P.2. ¿Cómo diseñar, implementar y evaluar una secuenciación didáctica vinculada a una situación de aprendizaje interdisciplinar, que incorpore estas metodologías en torno al análisis de un patrimonio controversial?	O.E.2	O.E.2.1
P.3. ¿Qué papel desempeña el pensamiento computacional en la comprensión de fenómenos fisicoquímicos abstractos, a través de la construcción y programación de sensores en el contexto del río Tinto?	O.E.3	
P.4. ¿Qué competencias digitales, estándares y habilidades relacionadas con la alfabetización digital y el pensamiento computacional desarrolla el alumnado a través de la secuencia implementada?	O.E.4, O.E.5	
P.5. ¿Qué emociones académicas se generan (y por qué) durante el desarrollo de la propuesta y cómo influyen en su implicación y aprendizaje?	O.E.6	O.E.6.1, O.E.6.2, O.E.6.3
P.6. ¿De qué manera se manifiesta el pensamiento crítico del alumnado tras la implementación de la secuencia y cómo puede evaluarse su desarrollo?	O.E.7	
P.7. ¿Qué conflictos, logros y dificultades emergen durante la implementación de esta propuesta metodológica en el aula y qué implicaciones tiene para futuras prácticas educativas y su posible transferencia a otros contextos?	O.E.8	

CHAPTER I. INTRODUCTION

1.8 Structure of the Study

This dissertation is structured into five chapters, following a logic that combines conceptual development, methodological design, and the presentation and discussion of results based on a compendium of publications. A general overview of each chapter is presented below:

Chapter 1, entitled Introduction, outlines the personal, academic, and professional motivations that gave rise to this research, grounded in an educational, scientific, and social commitment to science teaching from a critical, interdisciplinary, and environmentally engaged perspective. The context that justifies the relevance of the study is presented, including the institutional and curricular framework, as well as the associated international experience. This chapter also describes the thesis format as a compendium of publications and details the ethical commitment to both the participants and society.

Chapter 2 corresponds to the Theoretical Framework and compiles the main conceptual foundations underpinning the research. It is organized into ten interrelated sections that address the core pillars of the study, including inquiry-based learning, modeling, computational thinking, the STEAM approach, academic emotions, critical thinking, and argumentation, among others. Each section has been developed through a review of specialized literature, incorporating both national and international studies and in dialogue with the conceptual frameworks found in the compendium's publications. This chapter not only provides definitions but also presents theoretical models and best practices to offer an applied understanding of each of the addressed dimensions. Furthermore, once the theoretical framework is established, this chapter includes the formulation of the research problem as well as the general and specific objectives, serving as a bridge between the theoretical foundation and the subsequent methodological design.

Chapter 3 presents the Methodological Framework. This section provides a detailed explanation of the research approach and its key features. It introduces a methodological sequence divided into three broad phases: diagnosis and theoretical foundation, design and implementation of the didactic proposal, and evaluation and analysis of results. Based on these three general phases, six interrelated stages are outlined and described, following a constructivist/qualitative process and the principles of action research.

This chapter also presents the study context, the profile of the participating students, and provides a detailed description of the data collection and analysis instruments.

Chapter 4 presents and develops the Compendium of Publications. This chapter includes the eleven scientific contributions that constitute the corpus of results for this dissertation. Each publication addresses one or more of the study's specific objectives and has undergone academic peer-review processes through conferences, book chapters, and indexed journals. The sequence of publications follows the logic of the methodological phases previously described.

Chapter 5, Discussion and Conclusions, integrates the results obtained across the different publications, organizing them according to the study's specific objectives. This chapter offers a critical and reasoned reflection on the main contributions of the research. It also identifies the study's most significant contributions to educational practice, acknowledges the limitations of the research process, and outlines potential directions for future inquiry.

Thus, the structure of this dissertation is designed to explore how a controversial heritage issue can serve as the central axis of an interdisciplinary STEAM learning situation, grounded in inquiry, modeling, and computational thinking, with the aim of fostering students' critical thinking development.

1.9 Motivations: A Thesis That Emerges from the Earth

This thesis does not arise solely from academic concerns, but from a deeply personal conviction that, in some sense, emerges from the earth itself. My initial academic training as a geology graduate shaped a distinct way of observing the world, prompting me to question what lies beneath our feet, the origin and transformation of landscapes, the resources that sustain us, and the risks we unknowingly inhabit.

In my master's final work for the Secondary Education Teaching Program, I had already begun to explore the need to educate "geo-literate" citizens, those aware of the importance of Earth Sciences in a world increasingly dependent on geological and hydrological resources.

During those years, the evident lack of geological content in school curricula and textbooks, along with the limited body of research in Earth Science education, awakened in me an urgent need: to highlight the value of geoscientific literacy as a key component of 21st-

century citizenship education. This concern was reinforced by the recommendations of international organizations such as UNESCO and the National Science Foundation (NSF), and especially by the figure of Emilio Pedrinaci, whose staunch defense of geology within the Spanish educational system left a deep impression on me.

From that passion for geology and science education, a second passion emerged: research. Research into what to teach, how to teach, and why teach science. In this sense, I began to understand that scientific literacy today cannot be limited to mastering conceptual knowledge in experimental sciences. Rather, it involves educating individuals by considering various social, historical, and cultural dimensions, enabling them to think critically about the world, to question, argue, make decisions, and act accordingly in a society increasingly dependent on technology and suffering the consequences of poor resource management and environmental degradation, including harm to ourselves.

But then, what does it truly mean to be scientifically literate? What must one learn to achieve it? And, in parallel, what should we teach? This was the starting point of a journey that found its natural course in a knowledge transfer project centered on the Río Tinto, a river located in the province of Huelva, as its core axis. A place both symbolic and real, a Martian-like mining landscape, and a controversial and educational heritage site.

1.10 Justification and Contextualization

How can we prepare students to thrive in an interconnected world, fostering the understanding of multiple perspectives, respectful interaction, and a commitment to sustainability and collective well-being? This question, posed by the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) in 2015, highlights the need to think and act responsibly toward shared well-being, based on knowledge, attitudes, values, and skills such as reasoning and critical thinking (Ananda et al., 2023).

This concern also aligns with Target 4.7 of the United Nations' 2030 Agenda for Sustainable Development in the field of education (UN, 2015). Furthermore, it resonates with the current vision of scientific literacy, which assumes that school science entails stronger social commitment and civic impact. It emphasizes the importance of critical reflection and active citizen participation in socio-scientific issues and sociocultural contexts (Sjöström, 2013; Sjöström y Eilks, 2018).

In an attempt to address the OECD's complex question, authors such as Beniermann et al. (2021) propose the development of critical thinking as a key goal for the 21st century,

where the denial of science poses an ongoing and growing challenge for society and science education. This need became even more pressing five years later, when the COVID-19 pandemic exposed the vulnerabilities, gaps, and inequalities of both society and the educational system (Valladares, 2021). In response, UNESCO (2020) presented nine key ideas for laying the foundations of post-pandemic education. Among these was the call to "ensure science education within the curriculum, particularly as we combat the denial of scientific knowledge and actively fight against misinformation."

The widespread circulation of unverified pseudoscientific claims and fake news has elevated critical thinking to one of the major aims of science education aimed at fostering responsible citizenship. Nevertheless, various factors contribute to the limited implementation of this practice in classrooms (Blanco-López et al., 2017; Larsson, 2017). Solbes and Torres (2013) had already linked these limitations to the decontextualization of science content, lack of teacher training, improper use of information and communication technologies (ICTs), and a predominantly unidirectional approach to science teaching. They argued that students need to engage in forums and debates on socio-environmental issues that provide authentic meaning to scientific content, encouraging argumentation and ethical reasoning.

From this perspective, contemporary society—heavily shaped by science and technology—requires citizens who are able to understand, reflect upon, and make informed decisions regarding the ethical dilemmas that arise from scientific and technological developments. Such citizens must develop a critical, informed, and engaged stance toward these advancements, without losing sight of their interrelation with broader social dimensions, including sociocultural and historical aspects (Figueroa-Céspedes et al., 2020; Valladares, 2021).

Science learning integrated into STEAM (or STEM, when the arts are excluded) education (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) can enhance student engagement, promote scientific literacy, and foster critical thinking skills among secondary school students. These are particularly crucial years in which science education and critical thinking capabilities can be most effectively developed (Colucci-Gray et al., 2017; Nilyani et al., 2023; Vieira y Tenreiro-Vieira, 2016). The growing interest in STEAM education presents both numerous opportunities and significant challenges. Its interdisciplinary and integrative nature facilitates the development of key competencies, fostering the capacity to recognize, apply and articulate the methods, reasoning, and language inherent to science to analyze,

make decisions, and take action in the face of complex problems, while taking advantage of the available technological resources (Couso, 2017; Lupión-Cobos et al., 2020). The integration of technology into science education is both an unavoidable reality and an opportunity to advance educational inclusion in accordance with the principles of Universal Design for Learning (UDL) (Lupión-Cobos et al., 2020).

However, research highlights the lack of training among secondary school teachers, who, unlike their primary school counterparts, often lack preparation in multiple areas of knowledge and in specific methodologies for teaching them (Park et al., 2016). Moreover, time constraints and workload pressures make it difficult to plan and implement interdisciplinary activities and develop appropriate teaching materials (English, 2017; Kim y Bolger, 2017; Park et al., 2016). These barriers hinder the integration of a STEAM approach in classrooms and limit the transformation of theoretical knowledge into practical application (Tunc y Bagceci, 2020). Yet it is precisely this potential, developing critical thinking, problem-solving abilities, creativity, and computational thinking, that defines STEAM's value in contemporary education (Juškevičienė et al., 2021; Thibaut et al., 2018).

In recent years, the incorporation of programming as a subject in compulsory education in several countries (Royal Decree 157/2022) has led to growing acceptance of computational thinking as an essential component of education. However, this shift has occurred before there has been sufficient research to understand the processes it entails, its true educational value, and how best to approach it in the classroom, beyond simply teaching how to code (Ortega-Ruipérez, 2020). STEAM-focused studies centered on computer programming report improvements in student attitudes and motivation, but also point to challenges in acquiring scientific procedures and understanding programming concepts (Toma y García-Carmona, 2021). Further research is needed to engage students in meaningful learning experiences (Angeli y Giannakos, 2020).

The 2015 report by FECYT (Spanish Foundation for Science and Technology), in collaboration with Google, underscores the importance of ensuring that new generations acquire knowledge in computer science in order to understand how technology functions, develops, and evolves, as well as to enhance their digital competence and build essential skills across multiple domains (Olivares de Julián et al., 2016). In this way, computational thinking is positioned as a key approach for problem-solving across diverse fields—not only within the realm of technology (Olivares de Julián et al., 2016), and as a topic of growing interest for research, design, and the development of innovations and interventions aimed at

developing STEAM competence (Grover y Pea, 2017) in secondary education. It is also viewed as an effective tool for fostering the limited scientific vocations among students, helping them develop the skills needed for the jobs of the future (García-Fuentes, 2022), and as a methodological resource that serves as a vehicle or means to achieve specific goals within and across disciplines (Quiroz-Vallejo et al., 2021).

Similarly, and also in 2015, the European Commission, through its report Science Education for Responsible Citizenship, emphasized the need for educational systems and policies to prioritize supporting schools, teachers, and students in the integration of inquiry-based learning, focused on competencies and interdisciplinarity, as a central element in science teaching (Hazelkorn et al., 2015). The inquiry-based learning model, when developed alongside scientific literacy, has been shown to effectively enhance students' critical thinking skills (Sutiani et al., 2021), while also contributing to the acquisition of STEAM competencies outlined in educational frameworks (Lupión-Cobos et al., 2020). According to FECYT, there is ample evidence supporting the benefits of an inquiry-based approach in science learning, and the most effective way to teach school science is through the implementation of practices most widely recommended by science education research: inquiry, modeling, and argumentation (Jiménez-Liso, 2020).

The need to jointly develop computational thinking, inquiry, and modeling in science education raises questions about how and to what extent they can be effectively integrated. Modeling is considered essential to fostering scientific literacy in 21st-century citizens (M. Chiu y Lin, 2019), as it is a fundamental activity in both academic and school science. It involves the expression, use, evaluation, and revision of models as a pathway to understanding and knowledge generation. From an instrumental perspective, it also supports scaffolding processes that guide teaching and learning tasks such as conceptualizing, reflecting, visualizing, illustrating, and representing (Oliva, 2021).

In addition, the OECD, through its PISA 2025 Science Framework (OECD, 2023a), evaluates and highlights the competencies and knowledge developed in specific contexts that pose relevant questions and choices for science and environmental education. In line with this, the regional curriculum of Andalusia, as stated in its official order of May 30 (Junta de Andalucía, 2023), underscores that, for the effective acquisition of the specific competencies of each subject, learning situations must involve well-contextualized challenges or problems, meaningful and educational scenarios to promote and develop connections with the social and cultural practices of the community. In this regard, authors

such as Sadler (2009), Beniermann et al. (2021), and Sadler et al. (2016) have long considered socio-scientific issues (SSI) as ideal contexts for situated learning in science education, emphasizing improvements in student participation and motivation when engaging with such topics. Educational research on SSI has grown steadily, particularly in relation to environmental issues and themes such as argumentation, reasoning, decision-making, and critical thinking (Ban y Mahmud, 2023), and even in the enhancement of students' emotional competence (Gao et al., 2019).

Integrating STEAM with SSI can enhance scientific literacy and help connect science with real-world problems, benefiting students in social and intercultural contexts (Mang et al., 2021). Despite the fact that, according to Bossér and Lindahl (2019), integrating SSI into science education remains a challenge for many science teachers, it is regarded as important for emphasizing dialogic practices in the classroom, bringing in students' opinions alongside diverse perspectives and multiple sources of knowledge.

But what kinds of issues or contexts should we address in science classrooms? Estepa (2024) and Estepa y Martín-Cáceres (2018) argue for the need to incorporate so-called controversial heritage into teaching processes in order to promote "the formation of a socio-critical, active, and participatory eco-citizenship." Through the analysis of heritage elements, students can strengthen their observation and inquiry skills (Caudo et al., 2023), while addressing social, economic, historical, cultural, and environmental issues, whether local or contemporary, through diverse disciplinary lenses (Trabajo y Cuenca-López, 2022). This also contributes to the development of emotional and territorial intelligence, connecting students with identity and citizenship, since identity ties foster both individual and collective recognition (Cuenca et al., 2021).

This perspective not only responds to theoretical and research-based frameworks, but is also aligned with the requirements of the Andalusian curriculum, which highlights the need to contextualize the development of key competencies and basic knowledge through content related to the reality, richness, and natural and cultural heritage of Andalusia—the region in which this study was conducted—across the different thematic blocks (Junta de Andalucía, Orden del 30 de mayo, 2023).

In this way, controversial heritage is presented as a dynamic source of knowledge that fosters the development of cognitive abilities and critical thinking. It promotes dialogue and challenges preconceived notions, enabling students to engage through reflection, analysis, empathy, solidarity and cooperation, ultimately shaping a way of thinking guided by

principles of justice and self-regulation. This enables them to evaluate current structures and promote systemic changes toward a more just and equitable society (Cuenca, 2014; Gómez-Hurtado y Cuenca, 2022; Martín-Cáceres et al., 2021). Moreover, these pedagogically selected heritage elements often evoke dilemmas, debates or social conflicts (Arroyo-Mora et al., 2022; Estepa, 2024; Sampedro-Martín et al., 2022), positioning themselves as valuable resources for addressing emotions, since emotions influence how such heritage is valued and recognized within communities (Gómez-Villar y Canessa-Vicencio, 2019; Gómez-Hurtado y Cuenca-López, 2022).

There is a growing demand for more diverse methodological approaches to fully understand emotions within the sequencing of activities in science learning contexts (Davis y Bellocchi, 2020; Jiménez-Liso et al., 2023). In the field of experimental sciences, the implementation of contextualized methodologies based on inquiry, with both experimental and creative development, focused on content comprehension and skill development, fosters scientific literacy in the classroom and contributes to a shift in students' motivation toward science subjects (Busquets et al., 2016; Gómez Castillo et al., 2017). Although emotions play a crucial role in motivation, interest and engagement with STEM, a notable decline in positive attitudes toward these disciplines is observed during secondary education (Martínez-Borreguero et al., 2019). Academic knowledge is acquired more effectively when students develop emotional competencies, which is why identifying and regulating emotions is essential, taking into account both affective and cognitive aspects. Emotions are now beginning to be part of the research agenda in science education, and the focus is on understanding how they relate to reasoning and how both dimensions influence each other.

It is therefore essential to create, design and implement innovative learning sequences that foster critical thinking, grounded in relevant contexts within science education and supported by the use of technology for civic education. This should be done using active learning strategies such as inquiry, modeling and argumentation, which make the most of interdisciplinary connections within the STEAM framework. In addition, it is necessary to develop and apply useful and accessible teaching resources that ensure effective implementation and build confidence in teachers and their ability to apply these approaches (Blanco-López et al., 2018; D. Kim y Bolger, 2017; Lupión-Cobos et al., 2020).

Therefore, the present doctoral dissertation aligns with this approach and aims to improve the teaching and learning of science through the development, implementation and study of a sequence of activities designed with a STEAM focus. This sequence is centered on

a controversial heritage site as the core theme and is intended to contribute to the formation and preparation of a scientifically literate future citizenry.

1.11 International Research Stay

The international research stay was carried out in two periods, totaling three months, at the Pedagoški fakultet u Somboru, Univerzitet u Novom Sadu, Vojvodina, Serbia (Faculty of Education in Sombor, University of Novi Sad, Vojvodina, Serbia). The first period took place from July 15 to September 15, 2023, while the second was held from August 1 to August 31, 2024. This stay was co-funded by the DESYM Research Group (HUM-168, PAIDI) at the University of Huelva.

Under the supervision of Professor Dr. Marija Bosnjak-Stepanovic, who has a long teaching career and research background focused on students' alternative conceptions in science and inquiry-based science teaching methodologies, a range of research activities related to the doctoral dissertation were carried out during this stay. These included meetings with experts in science education, joint work sessions for reviewing specialized literature, and analysis of methodological approaches applied at different educational levels. Academic exchange activities were also undertaken, including presentations on the dissertation, the delivery of lectures and participation in scientific events.

The choice of this faculty was not based on its status as the most prestigious or renowned in Europe, nor even within its own country, nor is it a leading institution in the field of science education research. However, it is one of the oldest institutions in the region and is currently undergoing a process of harmonizing its curricula with the European educational system. It has also begun integrating educational technologies through a STEAM-oriented approach. As a result of these developments, the faculty organized its first STEAM conference (1st International Scientific Conference Steam + X Approach in Education, 2024), in which we had the opportunity to participate.

The research stay was highly stimulating for all researchers involved and provided a valuable opportunity to share perspectives with faculty members on STEAM education in Serbia compared to other EU countries. These exchanges were enriching for both sides. In addition, as a direct outcome of the first period of the stay, partnership agreements were established between the Faculty of Education, Psychology and Sport Sciences at the University of Huelva and the Faculty of Education in Sombor, University of Novi Sad, within the Erasmus+ KA131 programme (2023–2029), with the aim of promoting the mobility of

students and academic staff. Regarding the second period of the research stay, agreements were established to extend collaboration to doctoral studies, in order to support the mobility of PhD students. Furthermore, both faculties have agreed to form a partnership for the development of joint research, teaching and knowledge transfer projects.

1.12 Thesis Modality: Compendium of Publications

This doctoral dissertation follows the modality of presentation and defense by compendium of publications, as established in Article 35 of the doctoral studies regulations of the University of Huelva. These regulations, approved by the Governing Council on April 23, 2012 and later amended on December 19, 2012; July 18, 2014; October 30, 2018; and April 21, 2022, state that the thesis must consist of a set of scientific contributions (at least three) that have been published or accepted for publication, all of them related to a single line of research. Additionally, the doctoral candidate's contribution to these works must be significant and accredited by the thesis supervisor(s), and the publications must meet the evaluation criteria set by the National Commission for the Evaluation of Research Activity (CNEAI).

Furthermore, five scientific articles are presented, four of which have been published in journals indexed in international databases such as Scopus or ERIH Plus (Revista ÁPICE, Eurasian Journal of Mathematical and Educational Science, Education Sciences, and the journal EUREKA), while one is currently under review in indexed journals. The compendium also includes three book chapters, developed within the framework of the research on interdisciplinary learning situations. In addition, two oral communications and one poster are presented, summarizing the didactic sequence implemented.

All scientific outputs meet the requirements established by the CNEAI. This will be demonstrated in Chapter 7, which includes a detailed report on the impact factor and academic relevance of the publications presented. The thematic connection of these works lies in the interdisciplinary study of the Río Tinto as a controversial heritage site and its application in secondary education, addressing inquiry-based learning, modeling and computational thinking, as well as the analysis of academic emotions within STEAM projects.

This approach allows the publications to be articulated around a coherent line of research that aligns with the goals of educational innovation and teacher training, emphasizing interdisciplinarity and the use of real-world contexts as tools for meaningful learning.

1.13 Ethical Commitment, Good Research Practices and Social Responsibility

Throughout the entire study, the ethical principles recognized by the scientific community have been upheld, ensuring at all times the confidentiality of the data collected and the anonymity of the participants. These measures were implemented in compliance with the current regulations on personal data protection, specifically those established in Organic Law 3/2018 of December 5, on the Protection of Personal Data and Guarantee of Digital Rights. Furthermore, in accordance with Royal Decree 99/2011 of January 28, which regulates official doctoral studies, this thesis affirms its commitment to complying with the Code of Good Practices as stipulated in Articles 19, 22 and 25 of the Doctoral Studies Regulations of the University of Huelva, as outlined in its Guide to Good Practices.

In all investigations where the participation of educational agents as informants was required, informed written consent was obtained in advance through specifically designed documents (see Appendix). All data collection procedures followed the rules, protocols and guidelines for the protection of personal data, ensuring the confidentiality of all information, both at the University of Huelva and at other institutions where parts of the doctoral training period took place, and exclusively for the purpose of completing this doctoral dissertation.

All data and records obtained will be stored in the Arias Montano Repository of the University of Huelva, ensuring their protection and availability for verification purposes. This repository has been evaluated and validated in accordance with the RECOLECTA guidelines (FECYT/MINECO), a platform that brings together all national scientific repositories and provides services to other repositories and researchers, complying with the required quality standards. In the 2019 update, out of the 127 resources analyzed by RECOLECTA, only 52 met all the requirements, including Arias Montano (Morillo Moreno, 2025) (https://guiasbuh.uhu.es/AriasMontano/rankings).

Regarding social responsibility, this thesis, along with the activities and outputs developed from it, has been written and presented using clear and accessible language. Particular attention has also been given to the use of simple and understandable graphs and diagrams, with the aim of making the scientific content more accessible to non-specialist audiences and thus contributing to a better public understanding of science.

1.14 Research Problem and Objectives

International institutions such as the Next Generation Science Standards (NGSS), the National Research Council (NRC), the Organisation for Economic Co-operation and

Development (OECD), and the Partnership for 21st Century Learning (P21) have emphasized that critical thinking should be considered a key competency for 21st-century education (NGSS, 2013; NRC, 2012; OECD, 2019; P21, 2009). Similarly, this need has been supported by numerous studies in the field of science education (Raj et al., 2022; Shaw et al., 2019; Willingham, 2010; Ying-Yan et al., 2020), which consistently highlight the importance of preparing students to interpret, analyze, and respond to social, environmental, and scientific challenges from a reflective and well-reasoned perspective.

This position aligns with the foundational pillars of the educational paradigm outlined in Royal Decree 217/2022 of March 29, which establishes the curriculum for compulsory secondary education in Spain. Among its objectives, the decree promotes the development of a critical, participatory, and democratically engaged citizenship; the strengthening of the affective dimension and the critical use of information sources; the understanding of scientific knowledge as an integrated body of knowledge; the consolidation of collaborative and autonomous work habits; the development of critical thinking and the capacity for self-directed learning; scientific and technological literacy; and the understanding and appreciation of cultural and natural heritage as key elements for a deep comprehension of the environment and society (Real Decreto 217/2022, art. 7).

Within this context, the integration of socially relevant issues, such as socio-scientific issues (SSIs), into science education has been established as a particularly effective didactic strategy to foster students' critical thinking, scientific literacy, and civic engagement with socially significant problems (Beniermann et al., 2021; Sadler, 2004; Zeidler, 2014; Zeidler et al., 2019). These issues help situate scientific knowledge within real, ethical, and controversial contexts that demand reasoned decision-making, active positioning, and well-founded dialogue (Huddleston y Kerr, 2016; López-Facal, 2011; Pagès, 2019).

In particular, the educational treatment of controversial heritage emerges as a specific type of socio-scientific issue (SSI) that directly connects with students' immediate environment, their identity frameworks, and their emotions, thus fostering deeper and more meaningful engagement (Estepa y Martín-Cáceres, 2018; Martín-Cáceres et al., 2022; Sampedro Martín et al., 2023). This approach has proven to be effective not only in enhancing conceptual understanding but also in promoting critical reflection, social commitment, and the development of ecosocial citizenship from an early age (Arroyo et al., 2022; Arroyo y Cuenca-López, 2021; Martín-Cáceres et al., 2022; Sampedro-Martín, 2024).

From this perspective, it becomes essential to address not only the cognitive dimension of learning but also the affective domain. Numerous studies in science education highlight the significant role emotions play in knowledge construction, motivation, and decision-making (Jimenez-Liso et al., 2022; Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2012). Specifically, academic emotions—those generated in learning contexts—have a direct impact on student engagement, learning, motivation, and self-regulation, as well as on the development of competencies such as critical thinking and problem-solving (Mellado, Borrachero, Brígido, et al., 2014; Pekrun, 2006; Pekrun et al., 2002).

At the same time, various international organizations such as UNESCO (2024) and the OECD (2019) stress that 21st-century citizenship demands new forms of literacy, in which the development of computational thinking and digital competencies is essential to understanding and acting within a world increasingly mediated by technology. From this standpoint, computational thinking is promoted not merely as a technical skill but as a transversal competency that enables the analysis, modeling, and resolution of complex problems across multiple disciplines (Angeli y Giannakos, 2020; Bocconi et al., 2016; Li et al., 2020a). Its integration into the curriculum—endorsed by policies such as Royal Decree 217/2022 in the Spanish context—aims not only to foster critical and creative use of digital tools but also to enhance scientific and critical thinking from early educational stages. However, recent research reveals that many teachers still lack adequate training to effectively implement computational thinking in the classroom, thereby hindering its full development (González et al., 2018; Ogegbo y Ramnarain, 2022).

In this regard, numerous studies agree that the development of critical thinking and scientific literacy requires incorporating authentic scientific practices—such as inquiry and modeling—into the classroom (Couso, 2014, 2020; Gilbert y Justi, 2018; Jiménez-Liso, 2020; Justi y Gilbert, 2002; Osborne y Dillon, 2008). Inquiry enables students to formulate questions, generate hypotheses, examine data, and construct knowledge based on evidence (Harlen, 2000; Jiménez-Liso, 2020), while modeling allows them to represent, simplify, and explain complex phenomena, thus fostering a deeper understanding of scientific content (Couso, 2014, 2020; Justi y Gilbert, 2002; Oliva, 2019b, 2021). However, several studies warn that although these methodologies are widely recommended in educational research, they still have limited presence in everyday teaching practice (Couso, 2020).

To overcome disciplinary fragmentation and respond coherently to current educational challenges, it is necessary to adopt an integrative approach such as STEAM

(Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics), which promotes interdisciplinary, contextualized, and creative teaching (Martín-Cudero et al., 2024; Quigley et al., 2017). This approach not only supports the development of scientific, technological, and digital competencies, but also fosters connections with the environment, collaborative work, creativity, and real-world problem solving (Ozkan y Umdu-Topsakal, 2021; Toma et al., 2019). In particular, it has been emphasized that an authentic STEAM proposal must integrate active methodologies, relevant content, and a critical perspective on science—elements that converge in the design of learning situations such as those proposed in this thesis (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024; Mateos-Núñez, 2021; Toma y García-Carmona, 2021; Zamorano et al., 2018).

Thus, based on these educational demands, the theoretical foundation, and the reviewed methodological proposals, this study sets out the need to design, implement, and analyze a learning situation that jointly integrates inquiry, modeling, and computational thinking as strategies to foster critical thinking around a heritage-related controversy. In the same way, given the curricular requirements and the multiple documentary sources consulted for this thesis, it is essential that the proposed design be developed from a STEAM perspective and in an interdisciplinary manner, in order to address scientific, technological, and social problems in an integrated and holistic way. The complexity of this challenge calls for breaking down the general research question into specific subproblems that allow for addressing the various dimensions involved: from the development of digital and scientific competencies to critical argumentation, academic emotions, and the assessment of computational thinking in real-world contexts. In doing so, a direct connection is established between each sub-question, the specific objectives, and the scientific outputs that comprise this doctoral thesis by compendium, as outlined in the following section.

Thus, the central purpose of this doctoral thesis by compendium is to design, implement, and analyze a learning situation that integrates, in a joint and coherent manner, methodological approaches such as inquiry and modeling, along with problem-solving processes such as computational thinking. The goal is to examine how this combination can foster students' critical thinking development within a meaningful context: the analysis of a controversial heritage issue through content from experimental and social sciences.

The overarching research question (R.Q.) guiding this study is:

- What characteristics should an interdisciplinary learning situation based on inquiry, modeling, and computational thinking possess in order to promote comprehensive

scientific literacy through the analysis of critical thinking applied to a heritage-related controversy approached from experimental and social science content?

To address this question rigorously and systematically, seven sub-questions have been defined. These have guided the construction of the theoretical framework, the articulation of the methodological design, and the development of the scientific contributions that constitute this thesis by compendium. They are as follows:

- R.Q.1. How are the methodologies of inquiry, modeling, and computational thinking theoretically characterized, and what key elements can be integrated to implement them jointly in science classrooms?
- R.Q.2. How is an interdisciplinary learning situation designed and implemented based on the integration of inquiry, modeling, and computational thinking, using a heritage-related controversy as its core axis?
- R.Q.3. What learning outcomes regarding scientific-technological content (such as pH and its environmental implications) are observed among students after the implementation of the proposal?
- R.Q.4. What development of computational thinking skills is evidenced in students through the design, programming, and use of sensors applied to the measurement of physicochemical parameters?
- R.Q.5. What academic emotions do students express throughout the didactic sequence, and what role do these emotions play in the learning process?
- R.Q.6. What critical thinking and argumentation skills do students develop within the framework of the analyzed heritage controversy?
- R.Q.7. What tensions, achievements, and challenges emerge during the implementation of this methodological proposal in the classroom, and what implications does it have for future educational practices and its potential transferability to other contexts?

Based on the general research question posed in the previous section, this doctoral thesis aims to achieve the following General Objective (G.O.), which guides the work conducted throughout the different research phases:

- G.O. Identify key elements (strategies, activities, resources) of an interdisciplinary learning situation framed within a STEAM approach, in which inquiry, modeling, and computational thinking are jointly implemented to foster critical thinking

through the analysis of a heritage-related controversy based on content from the experimental sciences.

From this general objective, the following nine Specific Objectives (S.O.) are derived, formulated to guide the research process more concretely and specifically. Each objective is aligned with at least one of the scientific outputs that comprise the compendium, enabling a partial but robust response to the research problem:

- S.O.1. Investigate how the combined use of inquiry, modeling, and computational thinking can be articulated in an interdisciplinary teaching proposal.
    - S.O.1.1. Provide operational definitions for each of these approaches (inquiry, modeling, computational thinking). (R.Q.1)
    - S.O.1.2. Offer a pedagogical model for teaching computational thinking in classrooms. (R.Q.1, R.Q.2)
    - S.O.1.3. Identify the approaches, models, and resources through which these methodologies can be implemented in science classrooms. (R.Q.1, R.Q.2)
- S.O.2. Design and develop an interdisciplinary learning situation for the 10th grade of secondary education focused on the controversial heritage of the Río Tinto, integrating inquiry, modeling, and computational thinking as core methodological elements within the didactic sequence.
    - S.O.2.1. Develop a system of categories as a second-order qualitative assessment tool. (R.Q.2)
- S.O.3. Evaluate how the joint implementation of inquiry, modeling, and computational thinking contributes to the acquisition of abstract scientific content within the framework of a heritage-related controversy. (R.Q.2, R.Q.3)
- S.O.4. Understand the development of computational thinking through meaningful sensor programming tasks embedded within a learning situation. (R.Q.3)
- S.O.5. Analyze the impact of the didactic sequence on the development of students' digital competencies and computational thinking. (R.Q.4)
- S.O.6. Analyze the academic emotions that emerge in an interdisciplinary proposal based on active methodologies and how they contribute to learning.
    - S.O.6.1. Identify and analyze the academic emotions experienced by students throughout the implemented sequence and explore the reasons behind them. (R.Q.5)

    - S.O.6.2. Identify and analyze the academic emotions elicited by the programming, construction, and use of technological tools, and explore the reasons behind them. (R.Q.5)
    - S.O.6.3. Identify and analyze the academic emotions generated by working on a heritage-related controversy as the central topic of interest and explore the reasons behind them. (R.Q.5)
- S.O.7. Analyze the development of students' critical thinking throughout an interdisciplinary STEAM sequence, paying special attention to the use of active methodologies, educational technologies, and heritage controversies, as well as to the role of argumentation and debate as key tools in this process.
- S.O.8. Analyze the emerging conflicts, achievements, and challenges during the implementation of the methodological proposal, evaluating its implications for improving future educational practices and its potential transferability to other contexts.

Accordingly, the following table 1 presents the relationship between the specific research sub-questions and the specific objectives addressed through them.

Table 1. Association of Research Subquestions with Specific Objectives and Goals

Research Subquestion	Specific Objectives Associated	Goals
RQ1. What theoretical and methodological elements should be considered to jointly integrate inquiry, modelling, and computational thinking in an interdisciplinary learning situation?	SO1	SO1.1, SO1.2, SO1.3
RQ2. How can a didactic sequence linked to an interdisciplinary learning situation be designed, implemented, and assessed, incorporating these methodologies around the analysis of a controversial heritage?	SO2	SO2.1
RQ3. What role does computational thinking play in understanding abstract physicochemical phenomena through the construction and programming of sensors in the context of the Tinto River?	SO3	
RQ4. What digital competences, standards, and skills related to digital literacy and computational thinking does the student body develop through the implemented sequence?	SO4, SO5	
RQ5. What academic emotions are generated (and why) during the development of the proposal, and how do they influence students' engagement and learning?	SO6	SO6.1, SO6.2, SO6.3
RQ6. How is students' critical thinking manifested after implementing the sequence, and how can its development be assessed?	SO7	
RQ7. What tensions, achievements, and difficulties emerge during the implementation of this methodological proposal in the classroom, and what implications does it have for future educational practices and their potential transfer to other contexts?	SO8	

"El analfabetismo no es un hecho aislado, sino un reflejo de la estructura social en un contexto histórico determinado".

Paulo Freire.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

La base teórica de la presente tesis doctoral abarca diversos ámbitos que se han tenido en cuenta para la elaboración de una secuencia educativa que tiene como fin la consecución de una alfabetización ciudadana. A lo largo de este capítulo se detallarán todos estos ámbitos, partiendo desde la propia conceptualización de la alfabetización científica hasta los fundamentos teóricos que sustentan las metodologías, enfoques didácticos, habilidades y buenas prácticas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias que se han tenido en cuenta para su consecución. Todo ello con el objetivo de dar respuesta a las demandas del currículo, así como a las recomendaciones de organismos nacionales e internacionales y a las aportaciones de numerosos investigadores dentro del campo de la didáctica de las ciencias experimentales, quienes coinciden en la necesidad de formar a un alumnado críticamente preparado para afrontar los retos de la sociedad actual y desenvolverse en un mundo en constante transformación.

2.1. El Pensamiento Crítico y la Argumentación para lograr una Alfabetización Científica Crítica (ACC)

Para avanzar hacia una ciudadanía crítica y comprometida, la alfabetización científica debe entenderse en un sentido amplio, que incluya no solo el conocimiento científico, sino también habilidades como el pensamiento crítico y la argumentación. Este apartado explora estos componentes esenciales, profundizando en sus fundamentos teóricos y su valor didáctico para una educación científica orientada al compromiso social y a la toma de decisiones fundamentadas.

2.1.1. Alfabetización Científica: qué y para qué

La alfabetización científica sigue siendo hasta el momento reconocida como un objetivo prioritario en la enseñanza de las ciencias (Guerrero y Torres-Olave, 2022). Mucho se ha investigado sobre alfabetización científica en el campo de las didácticas de las ciencias experimentales (Acevedo, 2004; Bybee, 2015; Bybee y McCrae, 2011; Bybee, 1997; Guerrero y Torres-Olave, 2022; Liu, 2013; Sjöström, 2024; Sjöström y Eilks, 2018; Valladares, 2021) no sólo en cuanto a querer dar una definición, sino, además, en querer definir sus visiones, ámbitos y sus propósitos.

En cuanto a esto, es reseñable que el propio concepto de alfabetización científica ha evolucionado con el tiempo, desde una primera visión (I) que ponía el punto de mira

hacia sí misma, hacia la propia ciencia y a sus productos (leyes y teorías) y procesos (hipótesis y experimentación) (Roberts, 2007), y sus cánones dentro de las diferentes áreas de las ciencias naturales (Sjöström, 2024). Una segunda visión (II), que exterioriza el papel de la ciencia, otorgándole un sentido o propósito que se focaliza en la toma de decisiones sobre cuestiones socio-científicas (Guerrero y Torres-Olave, 2022; Sadler y Dawson, 2012; Sjöström y Eilks, 2018), con una connotación a veces utilitarista o funcionalista respecto a la relación ciencia-sociedad (Gandolfi, 2024; Valladares, 2021), y a una tercera y más actual visión (III) que se centra en el desarrollo de una actitud crítica donde, autores como (Hodson, 2011), abogan por una educación científica que promueva el pensamiento crítico, el análisis del impacto socio-tecnológico y el compromiso social, enfocándose hacia un activismo ciudadano transformador (Bencze, 2017; Sjöström, 2024; Valladares, 2021).

Esta tercera visión concibe la educación científica como una herramienta para la transformación social (Guerrero y Torres-Olave, 2022), y se alinea con autores de relevancia como Paulo Freire (1973), quien explicaba que la auténtica alfabetización consiste en la praxis; es decir, en la interacción de reflexión y acción del ser humano hacia la transformación. Para ello, esta tercera perspectiva sobre la alfabetización científica pone de relevancia la necesidad de adquirir amplios conocimientos científicos, como una verdadera alfabetización digital (Lefkos y Mitsiaki, 2021) a través de una alfabetización científico-tecnológica (Simarro y Couso, 2022), para participar democráticamente en decisiones sobre ciencia y tecnología (Guerrero y Sjöström, 2025) y una comprensión de nuestro complejo mundo interconectado desde una educación científica crítica-eco-reflexiva (Jones, 2017). Además, se enfatiza la importancia de enseñar y aprender desde una perspectiva interdisciplinar en la que el ciudadano esté comprometido y preparado para la acción (Priest, 2013; Sjöström, 2024), destacando que el compromiso científico debe estar estrechamente vinculado a la participación (DeWitt y Archer, 2017; Liu, 2013).

Actualmente, y en concordancia con este último enfoque, el marco PISA 2025 (OECD, 2023b), define a una persona científicamente alfabetizada como una persona capaz de participar en un discurso razonado sobre ciencia, sostenibilidad y tecnología, teniendo como requerimiento el desarrollo de las siguientes competencias:

- Explicar fenómenos científicamente: identificar, desarrollar, aplicar y analizar explicaciones sobre distintos fenómenos naturales y tecnológicos.

- Diseñar y evaluar investigaciones científicas e interpretar datos y evidencia científica de manera crítica: examinar y valorar métodos para investigar cuestiones científicas, así como interpretar y analizar datos científicos de una manera crítica.
- Investigar, evaluar y utilizar información científica para la toma de decisiones y la acción: recopilar información científica sobre un tema específico a nivel global, local o personal, analizar su fiabilidad, posibles errores y las consecuencias para la toma de decisiones individuales y colectivas.

2.1.1.1 La Alfabetización Científica Crítica

Actualmente, el propósito debe ser considerar la alfabetización científica como una misión en la educación (Gómez-Díaz et al., 2018) y tener en cuenta que debe ir más allá de la adquisición de conocimiento científico desarrollado a través de la selección las fuentes correctas (Priest, 2013; Siarova et al., 2019), pues existe una tendencia en la que la enseñanza científica convencional tiende a caer en el paraguas de las visiones I y II (Ibrahim et al., 2022). Esto da lugar a una cultura de la ciencia escolar a menudo desprovista de compromiso crítico con cuestiones políticas e ideológicas complejas que se entrelazan con la ciencia (Gandolfi, 2024). En consonancia con este planteamiento, De Pro (2012) ya apuntaba que "La ciencia no es neutral, objetiva y con verdades pendientes de ser descubiertas" (De Pro, 2012, p. 6), y que la formación obligatoria debe atender a las necesidades personales y sociales (salud, consumo, bienestar, sostenibilidad...). La ciencia debe posicionarse a fines deseados y abogar por formar a ciudadanos comprometidos, solidarios y críticos, donde el compromiso también sea con la ciencia, y eso significa abordarla de manera ética (Valladares, 2021) y escéptica (Priest, 2013), con debates sobre sus peligros y virtudes, para así cultivar los aspectos humanísticos y la formación del carácter de los estudiantes como futuros ciudadanos globales (Zeidler et al., 2019).

A raíz de los nuevos posicionamientos y consideraciones con la tercera visión de la alfabetización científica, se originó el concepto de "Alfabetización Científica Crítica" (Hodson, 2011) en un acortamiento de "Alfabetización crítica, tecnológica y medioambiental", usando la ciencia no sólo como un cuerpo de conocimientos conceptuales, sino como una herramienta de transformación y acción ciudadana para poder pensar, actuar y adaptarse a la realidad sociopolítica basada en la democracia y en la justicia social. Esta nueva conceptualización está centrada en empoderar la ciudadanía para que, a través de la aplicación y reflexión del conocimiento científico-tecnológico, les haga promulgar acciones bien informadas y querer convencer para que otros las sigan con

la finalidad de proteger el bienestar colectivo (cultural y físico) a nivel familiar, local y global (Rodriguez et al., 2022). Además, esta se conceptualiza para exigir una educación equitativa e inclusiva, para definir y cambiar la realidad, las posibilidades y las trayectorias de vida de los individuos, con la finalidad de proteger el bienestar de sus comunidades a través de la comprensión del papel de la ciencia (Guerrero y Torres-Olave, 2022; Rodriguez et al., 2022). Otros autores como Guerrero-Hernández et al. (2023), abogan por una alfabetización científica crítica centrada en una perspectiva colectiva, inclusiva y pluralista, que tiene en cuenta los estudios y posturas feministas, las clases sociales, los aspectos culturales y la etnicidad.

2.1.1.2 Un marco básico para la alfabetización científica

Ante la complejidad del concepto de alfabetización científica y su aplicación en las aulas, estudios recientes como los de Tippett et al. (2019) han querido simplificar y delimitar un marco básico para la facilitar la consecución de la alfabetización científica. A partir del informe realizado para el Parlamento Europeo sobre el estado de la alfabetización científica en la Unión Europea y sus implicaciones en la política educativa (Siarova et al., 2019), se diseñó un modelo donde se representan tres dimensiones para su desarrollo en la escuela (figura 1).

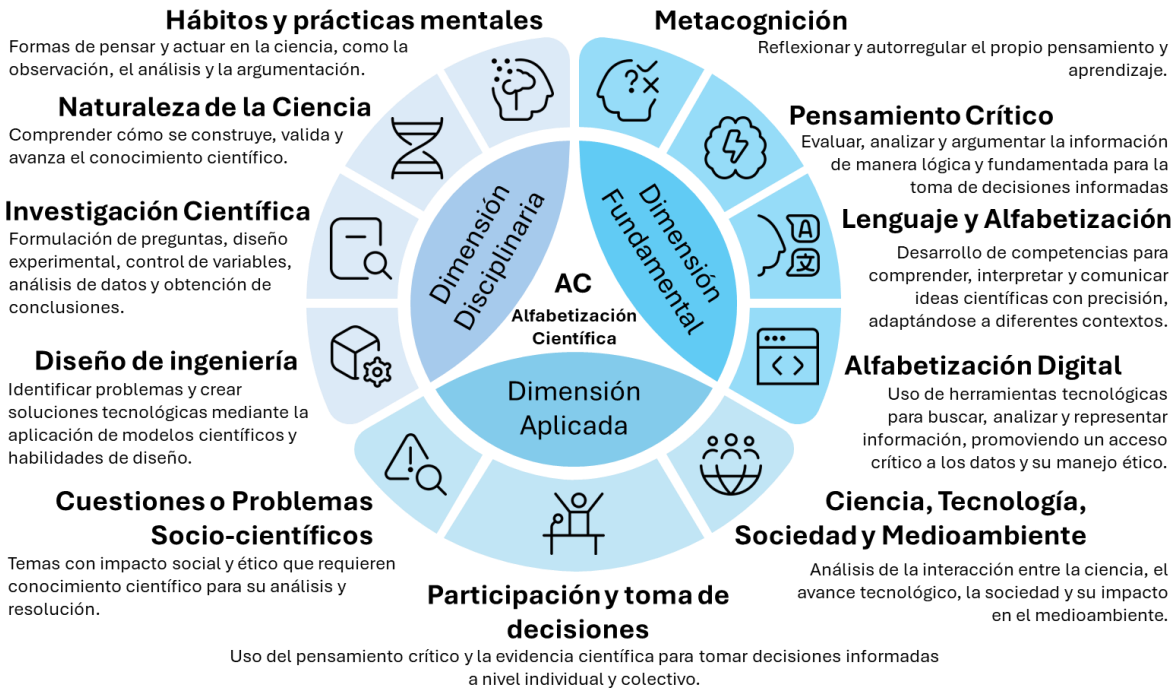


Figura 1: Marco básico para la alfabetización científica. Esquema con la representación de las tres dimensiones y sus componentes esenciales. Elaboración propia a partir de los estudios de Tippett et al. (2019).

Este modelo tridimensional está conformado por una dimensión disciplinar, que abarca el conocimiento científico y sus procedimientos. Una dimensión fundamental, centrada en el desarrollo de habilidades cognitivas, tecnológicas, metacognitivas, afectivas y comunicativas esenciales. Y, por último, una dimensión de aplicación e implicación, que busca utilizar el conocimiento científico para la toma de decisiones en ámbitos sociales, culturales, políticos y medioambientales. Este enfoque pretende servir como guía para la comunidad educativa, facilitando la integración de estos aspectos en sus prácticas y promoviendo la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados y comprometidos de forma activa y participativa con la ciencia en la sociedad.

Respecto a esto, autoras como Puig et al. (2023) hablan sobre la "competencia de acción" y la necesidad de que el alumnado se posicione como "agentes de cambio", proponiendo cinco dimensiones para el desarrollo de esta competencia:

- Identificación y toma de conciencia del problema
- Análisis crítico del problema
- Compromiso para resolver el problema
- Una visión del futuro sin el problema
- Experiencias de acción crítica

Otros estudios como los de Woods-McConney et al. (2014) y Grabau y Ma (2017) (citado en Valladares, 2021), sugieren un modelo tridimensional para la alfabetización científica bastante similar donde, además de una dimensión conductual y una dimensión cognitiva, propone una dimensión emocional que engloba las respuestas afectivas (tanto negativas como positivas) hacia la ciencia y sus procedimientos, así como emociones relacionadas con el interés, la felicidad, el aburrimiento, la tristeza o la ansiedad.

2.1.2 El pensamiento crítico: qué y para qué

En un mundo donde se adoptan las verdades más superficiales por ser las más accesibles y obvias a primera vista, donde noticias (muchas de ellas, falsas, también conocidas como *fake news*) con titulares sensacionalistas o cebos engañosos (conocidos en inglés como *clickbait*), y vídeos e imágenes manipuladas que son difundidas a través de redes sociales sin criterio o juicio alguno (y cada vez más creíbles gracias al desarrollo y evolución de las inteligencias artificiales), se hace necesario una forma de acercarse a todas ellas para buscar la verdad subyacente, para desentrañar los conceptos y así ver y comprender el mundo desde perspectivas y prismas diferentes (Hooks, 2010). Facione

(2007) ya hablaba sobre "los peligros de confiar nuestra vida y nuestra suerte a la toma de decisiones de una ciudadanía crédula, desinformada e irreflexiva" e hizo hincapié en la necesidad de invertir esfuerzos en enseñar a tomar decisiones acertadas a las personas "para convertirse en miembros que contribuyan a la sociedad, en lugar de ser una carga para ella".

Dada la situación, diversos autores (Raj et al., 2022; Shaw et al., 2019; Willingham, 2010; Ying-Yan et al., 2020) y organizaciones internacionales, como la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), la NGSS (*Next Generation Science Standards*) o P21 (*Partnership for 21st Century Learning*) y la NRC (*National Research Council*), han subrayado la necesidad de integrar el pensamiento crítico como una de las competencias fundamentales para la educación del siglo XXI (NGSS, 2013; NRC, 2012; OECD, 2019; P21, 2009).

El pensamiento crítico permite al alumnado analizar lo que ven, leen y escuchan, y a identificar información engañosa más allá de los hechos aparentes, para poder generar, probar y evaluar afirmaciones, datos y teorías (Danchin, 2023). El pensamiento crítico es también clave para el pensamiento científico, refiriéndose a las habilidades de razonamiento y saber-hacer (Vergara y Cofré, 2012), involucradas en la búsqueda de respuestas a fenómenos y que supone llevar a cabo investigaciones para llevar a cabo procedimientos o prácticas propias de la ciencia en el aula: indagación, modelización y argumentación. Y también lo es para el pensamiento sistémico; que consiste en identificar elementos que forman parte de un sistema y sus relaciones entre ellos (relaciones causa-efecto, relaciones no lineales y relaciones de retroalimentación) para poder desarrollar una visión global e integrada de los sistemas y actuar en consecuencia (Puig et al., 2023). Es, además, un componente esencial de la alfabetización y de la educación científica, y que tiene como finalidad hacer que el alumnado examine y reflexione sobre su propia comprensión de conocimientos y que piense, funcione y actúe como ciudadanos responsables en un mundo donde ciencia y tecnología son cada vez más relevantes en la sociedad moderna (Simarro y Couso, 2022; Vieira y Tenreiro-Vieira, 2016).

Al igual que con la alfabetización científica, son numerosas las definiciones y visiones que se puede encontrar en la literatura científica acerca del pensamiento crítico. Estudios llevados a cabo por Moore (2013) hacían referencia al mismo como un concepto central de la educación superior e identificó siete interpretaciones principales:

- Pensamiento crítico como juicio: Se centra en la capacidad de evaluar información, distinguir entre lo válido y lo no válido, y tomar posturas argumentadas sobre distintos temas.
- Pensamiento crítico como escepticismo: Enfatiza la necesidad de cuestionar ideas establecidas, evitar aceptar información sin pruebas suficientes y desafiar suposiciones propias y ajenas.
- Pensamiento crítico como creatividad u originalidad: Más allá de evaluar, implica producir nuevas ideas, generar conocimiento y plantear perspectivas innovadoras sobre los temas estudiados.
- Pensamiento crítico como lectura atenta y sensible: Se enfoca en la interpretación profunda de textos, comprendiendo no solo el significado literal, sino también sus intenciones, contexto y posibles implicaciones.
- Pensamiento crítico como racionalidad: Basado en la lógica y el razonamiento estructurado, donde las creencias deben fundamentarse en razones explícitas y justificables.
- Pensamiento crítico como compromiso ético y activista: Relaciona el pensamiento crítico con la toma de posiciones ante problemas sociales, promoviendo el cambio y la transformación de la realidad.
- Pensamiento crítico como autorreflexión: Destaca la importancia de analizarse a uno mismo, al propio proceso de pensamiento, reconocer los factores que influyen en los juicios personales y ser consciente de los sesgos individuales.

El propio Moore (2013) especificó que no se trata de sugerir que el alumnado necesite aprender de forma y separada y concreta una serie de visiones o “modos” distintos de ser crítico, pues el pensamiento crítico conlleva la aplicación de varios modos cognitivos, asumiendo que para su desarrollo ha de existir un hilo conductor común. A pesar de esta diversificación, consideramos las siete visiones como pertinentes en el desarrollo de competencias científico-tecnológicas si atendemos al currículo español de enseñanza obligatoria (Orden de 30 de mayo de 2023).

En cuanto a su definición, uno de los mayores referentes en la investigación sobre el pensamiento crítico es Peter Facione (2007) quien, tras reunir a un grupo de expertos, lo definió como 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, pág. 21). Facione explicaba que el pensamiento crítico no solo es una herramienta esencial para la investigación, sino también una fuerza liberadora en la educación, y un recurso valioso en la vida personal y cívica (Facione, 2007).

Según Raj et al. (2022), pensar es el proceso mediante el cual los estudiantes generan y aplican ideas para comprender mejor cómo pueden mejorar su forma de pensar y, por lo tanto, una persona es considerada pensadora crítica cuando mejora de forma intencionada su pensamiento de manera regular. Es por ello que el pensador crítico ideal no se caracteriza únicamente por sus capacidades cognitivas, sino que, además, se le caracteriza por la forma de enfocar y vivir la vida, más allá del papel que desempeñe en un aula (Facione, 2007). Además, Raj et al. (2022) concretaron a partir de numerosas investigaciones sobre el pensamiento crítico, que todas parten de una idea básica: reconocer las fortalezas y debilidades del propio pensamiento para mantener lo que funciona bien y trabajar en superar sus limitaciones. Del mismo modo, definieron al pensamiento crítico como "aprender a pensar sobre qué pensar", es decir, al hecho de "pensar de manera lógica y coherente", ya sea sobre cuestiones personales o externas, implicando que, en el ámbito educativo, el objetivo sea que se ejecute un proceso en el que el alumnado investigue, interpreten, analicen y combinen distintas fuentes de información confiables.

Monroy Mejía y Nava Sánchezllanes (2015), también se alinean con esta definición de carácter procesal del pensamiento crítico, conceptualizándolo como un proceso cognitivo que analiza y valora las implicaciones de nuestras ideas con el propósito de interpretar y dar sentido al mundo. Además, explican que especialmente se manifiesta en las opiniones que emitimos en la vida diaria y requiere una gestión consciente de las emociones, así como una actitud reflexiva y comprometida frente a los hechos. A través de este proceso, pueden educarse por sí mismos, construir argumentos sólidos y, en su nivel más básico, resolver problemas o llegar a conclusiones fundamentadas.

2.1.2.1 Disposiciones y habilidades del pensamiento crítico

Los filósofos Ennis y Paul han servido como referencia histórica del pensamiento crítico, siendo Ennis quien, en 1962, lo concibió como "el pensamiento lógico sustentado en habilidades cognitivas complejas", y posteriormente, en la década de los ochenta, incorporó elementos como la creatividad y las disposiciones personales (Forawi, 2016). Según la *Partnership for 21st Century Learning* (P21), pensamiento crítico se sitúa, junto

con la creatividad, la colaboración y la comunicación, como habilidades esenciales para que el alumnado afronte con éxito los desafíos de la vida personal, académica y profesional en un entorno globalizado y complejo (P21, 2009). Otros autores como Jayakumar (2009) ilustraban las habilidades del pensamiento crítico y ponían a la creatividad y a la comunicación como habilidades propias para su desarrollo, aportando además otras habilidades como el análisis, la resolución de problemas, tener la mentalidad abierta.

Gran parte de estas habilidades ya fueron descritas por otros autores referentes en este campo de estudio (Ennis, 2015; Facione, 2007), pero serían conceptualizadas como las "actitudes" o "disposiciones" hacia el pensamiento crítico. En este sentido, Facione (2007) enumeró siete disposiciones propias del pensador crítico, las cuales se centran en el "ser", es decir, en actitudes o rasgos personales que predisponen al pensamiento crítico: ser sistemático, ser inquisitivo, ser analítico, ser de mente abierta, tener confianza en el razonamiento, ser buscador de la verdad y ser juicioso. Por su parte, Ennis (2015), enumera doce comportamientos del pensador crítico centradas en el "hacer", es decir, en las acciones observables realizadas durante el razonamiento: buscar y ofrecer afirmaciones claras sobre la tesis o la pregunta, buscar y ofrecer razones claras, procurar estar bien informado, usar fuentes y observaciones creíbles y mencionarlas, tener en cuenta la situación en su totalidad, tener presente la preocupación fundamental en el contexto, estar atento a las alternativas, ser de mente abierta, considerar seriamente otros puntos de vista, abstenerse de juzgar cuando la evidencia y las razones son insuficientes, adoptar una postura y cambiarla cuando la evidencia lo justifique, y emplear habilidades de pensamiento crítico buscando la precisión y el acierto según lo requiera la situación.

En el campo de investigación del pensamiento crítico, además de las descritas anteriormente por Jayakumar (2009), existen varias categorizaciones en cuanto a las habilidades que lo componen como, por ejemplo, la taxonomía de Bloom (1956) (citado en Dwyer et al., 2014) con seis habilidades (crear, evaluar, analizar, aplicar, comprender y recordar), las de Mayhew et al. (2008) que proponen seis niveles o fases del pensador crítico, o las propuestas por Ennis, (1989), (2015), clasificándolas en cinco indicadores para evaluar el pensamiento crítico. Sin embargo, a partir de las premisas teóricas establecidas por Facione (2007), en esta tesis doctoral nos decantamos por considerar que el desarrollo del pensamiento crítico se sustenta principalmente en un conjunto de seis habilidades cognitivas (figura 2) que permiten al sujeto razonar de forma rigurosa y reflexiva, y que siguen teniéndose en cuenta hoy en día en investigaciones actuales

(Purwanto et al., 2019; Shaw et al., 2019) para el desarrollo del pensamiento crítico en la educación en ciencias. Estas habilidades comprenden la capacidad de interpretar y analizar información, evaluar su validez, formular inferencias razonadas, explicar el propio razonamiento de manera coherente y, finalmente, autorregular dicho proceso mediante una revisión consciente y constante. Juntas, estas dimensiones permiten no solo comprender y argumentar con mayor profundidad, sino también cuestionar y mejorar el propio pensamiento.

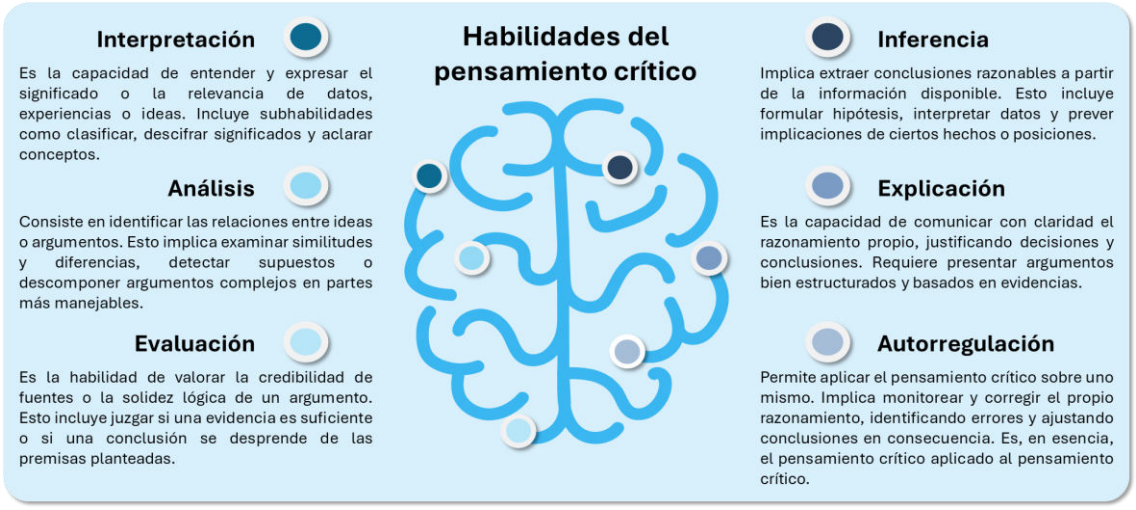


Figura 2. Esquema que representa y describe las seis habilidades del pensamiento crítico definidas por Facione (2007). Elaboración propia.

2.1.2.2 Buenas prácticas para la enseñanza del pensamiento crítico

El currículo de educación secundaria plantea la necesidad de una enseñanza centrada en la práctica científica y esto implica brindar al alumnado experiencias que favorezcan el desarrollo del pensamiento crítico y científico, así como su implicación en las formas de hacer, hablar y pensar ciencias en el aula (Jiménez-Liso, 2020). Autores como Willingham (2010) afirmarían que una de las dificultades para su enseñanza se debe a que el pensamiento crítico radica en su complejidad ya que, además de que implica analizar distintos puntos de vista, estar dispuesto a reconsiderar ideas y razonar con imparcialidad, el pensamiento crítico no es una habilidad genérica que pueda enseñarse y aplicarse automáticamente ante cualquier situación. Además, argumentó que el pensamiento crítico no es infalible (ni siquiera para las personas con formación científica), pues todo depende en gran medida del conocimiento del contenido (no se puede desarrollar pensamiento crítico sin conocer temas en profundidad) y de la práctica contextualizada (el razonamiento depende del contexto y del conocimiento previo del mismo y del modo en

que se presenta la información) pues, enseñar pensamiento crítico "en el vacío" no funciona (Willingham, 2010).

Teniendo en cuenta a Willingham, (2010) y a otros autores (Aktoprak y Hursen, 2022; Anggraeni et al., 2023; Davies, 2013; Forawi, 2016; Persky et al., 2019; Puig et al., 2023; Sutiani et al., 2021) enumeramos algunas de las consideraciones para su enseñanza y que hemos tenido en cuenta en esta tesis doctoral:

- No enseñar pensamiento crítico por separado, sino enseñarlo de forma integrada en la enseñanza de contenidos.
- Usar experiencias y contextos cercanos al alumno para aprender contenidos abstractos.
- Vincularlo a actividades científicas; puede desarrollarse a través del aprendizaje basado en la indagación científica o mediante Aprendizaje Basado en Proyectos, PBL (*Proyect-Based Learning*, en inglés), ya que mejoran significativamente las habilidades de pensamiento crítico.
- Practicar con ejemplos o situaciones reales.
- No reservar el pensamiento crítico para estudiantes avanzados: todos pueden desarrollarlo si se les da contexto y práctica adecuada.
- Desarrollar debates para confrontar ideas y posturas, haciendo que el alumnado se posicione como "agentes de cambio".
- Es importante que se desarrolle de forma sostenida.
- Se puede originar y desarrollar mediante actividades científicas como emitir afirmaciones, tomar decisiones o hacer preguntas.

2.1.2.2.1 Preguntas (críticas) para pensar

"*El problema de la ciencia escolar es que nos da respuesta a preguntas que nunca hemos hecho*" (estudiante citado en Osborne, 2014).

Otro aspecto clave que lleva considerándose desde hace tiempo en el área de la didáctica de las ciencias experimentales es el hecho de poner el foco en las preguntas, ya que éstas se consideran la habilidad central del pensamiento científico (Garcia-Gonzalez y Furman, 2014; Vergara y Cofré, 2012). Esto se debe a que el cuestionamiento tiene el potencial de promover el pensamiento crítico y fomentar la reflexión, de estimular el pensamiento profundo y de favorecer la construcción de conocimiento conceptual (Osborne, 2014). La capacidad de hacer preguntas bien definidas, o críticas, es un

componente importante de la alfabetización científica, ayudando al alumnado a llegar a ser consumidores críticos del conocimiento científico (NRC, 2012). Osborne (2014) defendía que, para enseñanza del pensamiento crítico, el hecho de involucrar al alumnado a participar en el cuestionamiento y la crítica es importante porque les obliga a posicionarse cognitivamente en la defensa de su postura y, además, indicaba que responder a este tipo de preguntas requiere involucrarse en procesos de observación, recolección de datos y búsqueda de patrones o regularidades, que son actividades propias del quehacer científico.

Una pregunta adecuada genera el deseo de responderla (Teague, 2024). La curiosidad se activa especialmente cuando una pregunta es novedosa, relevante y al alcance del conocimiento, lo que motiva a buscar la respuesta, facilitando el aprendizaje y la memoria (Kang et al., 2009). Todas las disciplinas exigen que el alumnado desarrolle la capacidad de formular preguntas, vincular teoría y práctica, utilizar evidencias relevantes, evaluar, establecer relaciones y organizar la información. No obstante, se ha demostrado que ciertas estrategias didácticas, como los debates, la indagación y la resolución de problemas, favorecen especialmente el planteamiento de cuestiones para el desarrollo del pensamiento crítico y el desarrollo de habilidades científicas (Forawi, 2016; Herranen y Aksela, 2019; Jiménez-Liso, 2020; Pozuelo-Muñoz et al., 2023). Cierto es que la ciencia ofrece muchas oportunidades para generar buenas preguntas y estas pueden despertar la imaginación creativa del que las plantea, dando lugar a la construcción de modelos y a la formulación de hipótesis explicativas (combinando razonamiento deductivo y abductivo) que deben ser puestas a prueba, consensuadas y validadas (Osborne, 2014; Osborne y Dillon, 2008).

Así, se considera que todas estas actividades dependen de un conjunto de prácticas científicas que han de tener o estar conducidas por una cuestión o incógnita a resolver, que conlleva a desarrollar a un proceso de investigación en la escuela de la que ya hacíamos referencia anteriormente a través de Raj et al. (2022), y que la NRC (2012) ya desarrolló años atrás (figura 3) involucrando aspectos científico-tecnológicos, considerando incorporar como necesario el pensamiento computacional (del que hablaremos más adelante) como práctica científica de carácter transversal con respecto a las competencias científicas de PISA 2016 (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024), para llevar a cabo en las aulas de ciencia para niveles K-12 (*Kindergarten through 12th grade*, que equivale a toda la educación escolar obligatoria) en aras de desarrollar pensamiento crítico.

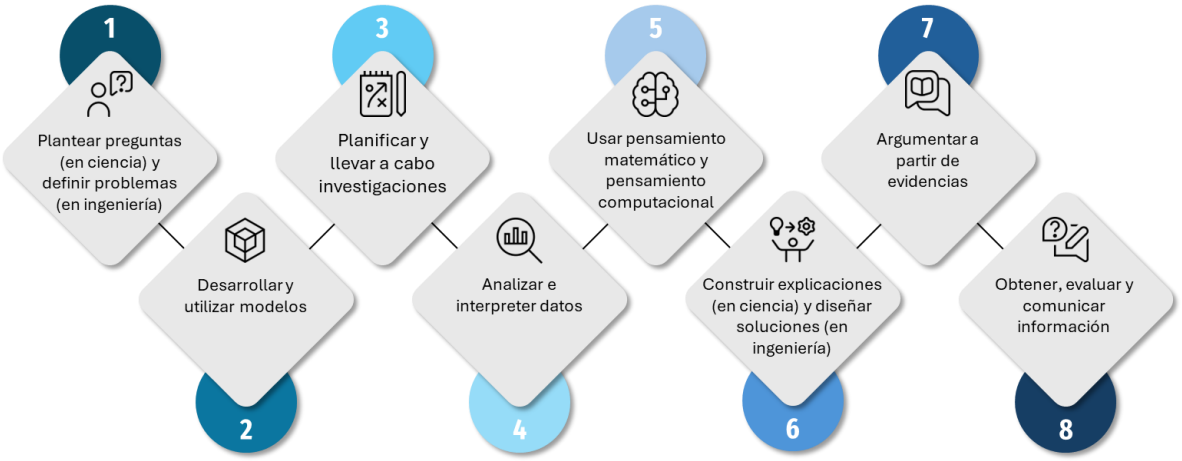


Figura 3. Prácticas para alumnos K-12 en las aulas de ciencias (NRC, 2012). Elaboración propia.

2.1.3 La argumentación: qué y para qué

Como se señaló en el apartado anterior, una de las características clave del pensamiento crítico es la capacidad de formular preguntas. En este sentido, la ciencia debería estimular al alumnado plantearse interrogantes y a cuestionar la información que recibe, favoreciendo una actitud crítica ante los contenidos que se abordan, ya que sin preguntas no hay necesidad de explicación y, por tanto, tampoco de argumentación (Osborne, 2014).

La argumentación, así, se convierte en una herramienta importante no sólo para fortalecer y estructurar el pensamiento crítico, sino también para desarrollar el razonamiento lógico y mejorar el rendimiento académico en el área de ciencias (Bathgate et al., 2015; Polat y Emre, 2020). Desde esta perspectiva, su papel en el aprendizaje científico es especialmente relevante, ya que permite al alumnado construir razonamientos sólidos y elaborar modelos para operar con ellos, razonando criterios, y así resolver problemas alcanzando conclusiones fundamentadas (Jiménez-Aleixandre, 2003; Raj et al., 2022). Dicho de otro modo, implica analizar y fundamentar adecuadamente las razones que permitan adoptar una postura o construir un criterio respecto a hechos y situaciones (Botella-Corral y Casas, 2003).

Según Jiménez-Aleixandre (2003), la argumentación es la capacidad de relacionar datos y conclusiones y de evaluar enunciados teóricos a través de diversas fuentes o datos empíricos, dándole en este sentido mucha más importancia a las evidencias como elementos centrales de la argumentación. Otros autores como Ruiz Ortega et al. (2015), consideran que la argumentación en ciencias, más que una herramienta, es un proceso

dialógico importante para favorecer comprensiones más profundas de los conceptos trabajados en el aula, además de representar una competencia que debe abordarse de forma explícita en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

2.1.3.1 El modelo de desarrollo argumentativo

Stephen Toulmin (2003), propuso los diferentes elementos que sentarían las bases de lo que hoy se conoce como un modelo funcional o esquema argumentativo en su obra *The Uses of Argument* (1958). Según este autor, el desarrollo argumentativo completo está compuesto por seis niveles o componentes (tabla 2):

Tabla 2. Componentes del desarrollo argumentativo y su descripción (Toulmin, 2003). Elaboración propia.

Elemento	Descripción
Claim (Afirmación)	Lo que se quiere defender o demostrar. Es la conclusión del argumento.
Data (Datos)	Evidencias o hechos que sustentan la afirmación.
Warrant (Garantía)	Regla general, principio o ley que conecta los datos con la afirmación.
Backing (Respaldo)	Apoyo o justificación del warrant. Refuerza por qué el warrant es válido.
Qualifier (Calificador/Modalizador)	Indica el grado de fuerza o certeza con el que se hace la afirmación ("probablemente", "casi siempre", etc.).
Rebuttal (Refutación)	Indica condiciones bajo las cuales el argumento no se cumpliría o podría fallar

Esta base teórica de corte filosófico y lógico, tuvo una aplicabilidad en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales gracias a diversos autores (Erduran et al., 2004; Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2008; Jiménez-Aleixandre et al., 2000), quienes lo adaptaron a contextos educativos y con el que se sigue trabajando en la actualidad (Beniermann et al., 2021; Darang et al., 2023; Ramos y Fernandes-Sobrinho, 2018). A pesar de no ser el único modelo para el estudio del desarrollo argumentativo, se ha considerado usar en esta tesis doctoral este patrón o modelo de argumentación de Toulmin (TAP, *Toulmin's Argumentation Pattern)* (figura 4), por ser una herramienta sencilla y con un amplio uso en el área de conocimiento de la didáctica de las ciencias experimentales. El modelo de argumentación de Toulmin puede contribuir a elevar la calidad de las argumentaciones en la enseñanza de las ciencias al analizar tanto los debates en clase como las interacciones en pequeños grupos de estudiantes (Erduran et al., 2004).

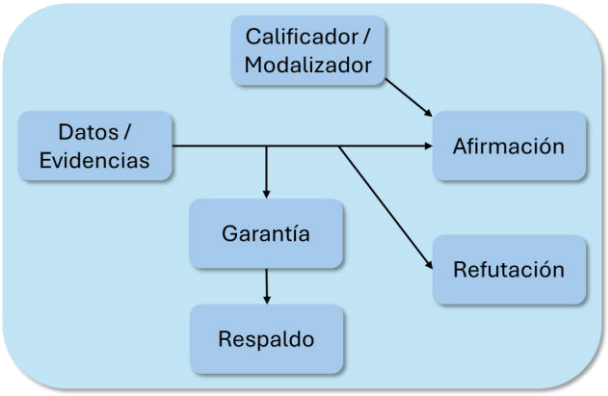


Figura 4. Esquema del patrón de argumentación de Toulmin completo (TAP, Toulmin's Argumentation Pattern, en inglés). Extraído y modificado a partir de (Erduran et al., 2004). Elaboración propia.

Este esquema (al que hemos considerado adicionar el elemento de calificador), es presentado con el propósito de descomponer y evaluar la calidad de la argumentación escolar. En él, se establecen diferentes niveles argumentativos basados en la complejidad estructural, desde el nivel 1 (solo afirmación) hasta el nivel 5 (que incluye refutaciones). Esto implica la necesidad de proponer estrategias didácticas para promover estructuras argumentativas más ricas como la garantía, el respaldo y las refutaciones (Erduran et al., 2004).

Este modelo argumentativo puede contribuir a mejorar las prácticas en la educación científica, al subrayar la importancia de incluir refutaciones (Ramos y Fernandes-Sobrinho, 2018) y al constituirse como una herramienta valiosa en la evaluación de ciencias, con un impacto positivo en el desarrollo del pensamiento crítico y en la promoción de un pensamiento diverso entre los estudiantes de secundaria (Darang et al., 2023).

2.2 Hacer ciencia para aprenderla: La indagación y la modelización en ciencias

Se sabe que el alumnado de secundaria aprende mejor ciencia cuando se involucran en los procesos propios de las prácticas científicas (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2012). Como habíamos comentado anteriormente, el compromiso y la implicación del alumnado con la ciencia es necesario y, para llegar a su consecución, es importante implementar prácticas educativas científicas para que, además de fomentar su nivel de implicación (preferentemente colectiva), les motive y les haga protagonista activo de su aprendizaje (Jimenez-Liso et al., 2022; Jiménez-Liso, 2020; Osborne y Dillon, 2008).

En este sentido, la modelización y la indagación son prácticas científicas altamente recomendadas en la educación científica debido a su capacidad para reflejar la autenticidad de la ciencia tal como la practican los científicos profesionales, ya que no sólo fomentan el razonamiento científico y la generación de hipótesis, sino que también promueven un sentido de autenticidad y agencia científica entre los estudiantes (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024; Windschitl et al., 2008).

2.2.1 La indagación científica: qué y para qué

La indagación científica ha sido un pilar constante en la enseñanza de las ciencias durante el último siglo, integrando tanto los métodos científicos convencionales como el razonamiento, la argumentación y el pensamiento crítico para fomentar la construcción del conocimiento científico (Duschl et al., 2007; Jiménez-Liso, 2020; Lederman, 2009), y que va más allá conocimiento conceptual (Osborne y Dillon, 2008). Además de ser considerada como parte fundamental para la alfabetización científica, sigue siendo un aspecto relevante en las últimas reformas de la educación científica (Crawford, 2014), y para el pensamiento crítico y lógico (NRC 1996; 2000). La indagación en ciencias permite el desarrollo de competencias científicas: habilidades, actitudes y valores requeridos para resolver y enfrentarse a diferentes situaciones problemáticas (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012). Existe un consenso al rechazarlo y desligarlo a la idea de "método científico", como una única serie de pasos indispensables para la investigación científica independientes del dominio investigado (Gil-Pérez y Vilches, 2005), pues esta no constituye un real aporte al entendimiento de lo que es la indagación científica ni al desarrollo de habilidades asociadas a ella (Vergara y Cofré, 2012). Es importante recalcar que, como ocurre con muchas tendencias educativas, en nuestro país su implementación es predominantemente teórica tanto en el ámbito político como académico, mientras que su aplicación práctica en las aulas es limitada y con pocos docentes que realmente la emplean en su enseñanza (Couso, 2014).

Con bases teóricas que residen en el constructivismo (Chatterjee et al., 2009), el término indagación presenta múltiples significados y conceptualizaciones (Couso, 2014; Lederman, 2009; Vergara y Cofré, 2012), resultando necesario, en primer lugar, clarificar sus distintas acepciones en el contexto educativo. Para ello, Barrow (2006) recopiló los estudios de la NRC (*National Research Council*) y de Bybee (2000) para separar en tres ámbitos a lo que suelen referirse los autores cuando se habla de indagación, pudiendo entenderse como:

1. A las capacidades, habilidades o destrezas cognitivas que el alumnado debe desarrollar, lo cual incluye tanto el manejo de técnicas y herramientas como la comprensión de prácticas y conceptos propios de la investigación empírica (lo que debe hacer el alumnado).
2. A los métodos utilizados por la comunidad científica, que el alumnado debe conocer para formular preguntas y entender cómo se construye el conocimiento científico. Es decir, la importancia cognitiva de construir explicaciones para dar significado (lo que debe comprender el alumnado acerca de la naturaleza de la indagación).
3. A las estrategias pedagógicas que los docentes deben diseñar y aplicar para facilitar el aprendizaje de los dos aspectos anteriores (lo que han de hacer los docentes).

Según el *Oxford English Dictionary* (OED), "inquiry" se define como "la acción de búsqueda de la verdad, el conocimiento o la información sobre algo" o "la acción de preguntar o cuestionar". Por su parte, la RAE (Real Academia de la lengua española) el término "indagación" lo define como "intentar averiguar algo discurriendo con preguntas". Estas definiciones parecen coincidir con las bases teóricas de la enseñanza-aprendizaje de ciencias que ponen a la formulación de preguntas en el eje central. En este sentido, el conjunto de organismos internacionales e investigadores con los que más se alinea teóricamente esta tesis doctoral (Cárdenas y Saavedra, 2017; European Commission, 2015; Furman y Podestá, 2009; Garcia-Gonzalez y Furman, 2014; Lederman, 2009), coinciden de forma general en definirla como la habilidad de formular preguntas y diseñar procedimientos apropiados para buscar, seleccionar, estructurar e interpretar información pertinente que permita responderlas. Esto conlleva, entre otras acciones, hacer predicciones, identificar variables, llevar a cabo mediciones, organizar y analizar los datos obtenidos, así como elaborar conclusiones. Esta definición pone de relieve la complejidad de la indagación educativa, aludiendo a múltiples dimensiones que la componen.

En este sentido, la indagación tiene como objetivo que el alumnado busque pruebas para contrastar sus ideas personales (Jiménez-Liso, 2020), pero esto no solo implica una serie de acciones secuenciadas, sino también el desarrollo de habilidades específicas y la comprensión de ciertas características que son inherentes a la naturaleza del trabajo científico. A continuación, se presenta una tabla (tabla 3) que recoge los componentes fundamentales de la indagación según el *National Research Council* (NRC,

1996), las habilidades científicas asociadas propuestas por el NRC (2000), y características esenciales que, de acuerdo con Lederman et al. (2014), definen el carácter abierto y no lineal del proceso indagativo.

Tabla 2. Componentes, habilidades y características de la indagación educativa (Lederman et al., 2014; NRC, 1996; 2000). Elaboración propia.

Componentes (NRC, 1996)	Habilidades (NRC, 2000)	Características (Lederman, 2014)
Preguntas científicamente orientadas que enganchen a los estudiantes.	Identificar preguntas y conceptos científicos. Formulación de preguntas e hipótesis. Diseñar la investigación.	En las investigaciones científicas todo comienza con una pregunta y no necesariamente se plantea una hipótesis.
Recopilación de evidencias para la evaluación y desarrollo de explicaciones a las preguntas científicamente orientadas.	Aplicación de la lógica, construcción de argumentos, utilización de evidencias.	No hay un único conjunto de pasos seguidos en todas las investigaciones (del mismo modo que no hay un único método científico).
Explicaciones desarrolladas por los estudiantes a partir de sus evidencias que lleven a las preguntas científicamente orientadas.	Uso o construcción de modelos, dominio de las matemáticas y la tecnología como herramientas.	Los procedimientos de la indagación están guiados por la pregunta planteada.
Evaluación de sus explicaciones, las cuales pueden incluir respuestas alternativas que reflejen una comprensión científica.	Reconocer y analizar respuestas alternativas, revisión de los resultados, selección del modelo idóneo.	Todos los científicos que desarrollan los mismos procedimientos podrían no obtener los mismos resultados.
Comunicación y justificación de las explicaciones propuestas.	Comunicar, defender y argumentar científicamente. Expresión oral y escrita.	Los procedimientos de investigación pueden influir en los resultados.

En este sentido, y haciendo referencia al tercer ámbito que definimos anteriormente a través Barrow (2006), autores como Anderson (2007) hacían una especificación sobre la enseñanza basada en indagación (IBSE, *Inquiry-Based Science Education*) fundamentándose en los trabajos de Dewey (1938) y Schwab (1962) y la *National Science Education Standards*, (1996; 2000) donde ya hacía referencia a un enfoque en que el aprendizaje debe situarse en un marco de máxima actividad participativa y donde se puedan llevar a cabo experiencias colaborativas.

2.2.1.1 La enseñanza basada en indagación (IBSE)

En un intento de involucrar al alumnado en un auténtico proceso de descubrimiento científico, la enseñanza basada en la indagación es una estrategia educativa que consiste en que el alumnado tenga de referencia a los métodos y prácticas

similares a los de profesionales de las ciencias para construir conocimiento, (Keselman, 2003; NRC, 1996) en el que, de un cierto modo, se "imita" a lo que los científicos hacen (Martin-Hansen, 2002). Y es que, hasta entonces, el foco estaba puesto en definir la indagación en cuanto a lo que ha de hacer el alumnado, dejando de lado lo que se espera del profesorado (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012). En este enfoque, el papel del profesorado también adquiere una importancia clave, ya que su función principal es orientar y acompañar la construcción de conocimiento mediante actividades concretas que involucren al alumnado en la búsqueda de soluciones a preguntas de investigación (Vergara y Cofré, 2012).

Es importante tener en cuenta que el diseño de procedimientos y la construcción de modelos conceptuales para responder dichas cuestiones cobra especial relevancia, generando nuevo conocimiento que aplican de forma significativa y autónoma a situaciones no familiares (Couso, 2014; Lederman et al., 2021; Muñoz-Campos et al., 2020). De igual forma, es relevante tener en consideración que incluso si la investigación falla en encontrar una respuesta, al menos la indagación nos va a permitir tener un mayor conocimiento y experiencia tanto en el proceso como acerca de los factores involucrados en alcanzar la solución (Bybee, 2000).

De este modo, aprender ciencia escolar implica aprender a hacer ciencia, a indagar (Jiménez-Liso, 2020). Es importante que la indagación deba estar influenciada por motivos afectivos y motivadores del alumnado (Muñoz-Campos et al., 2020), y ha de estar fundamentada sus las preguntas e intereses, que han de guiar el desarrollo del currículo partiendo de los procesos científicos que ocurren en su día a día y de la exploración sensorial del entorno (a través de la vista, el oído, el tacto, el gusto y el olfato), sirviendo como punto de partida para la construcción de conocimiento (Couso, 2014; V. M. Muñoz-Campos et al., 2020).

2.2.1.2 Un modelo para la enseñanza basada en la indagación

Existen gran diversidad de enfoques metodológicos para llevar a cabo indagación en las aulas (Bevins y Price, 2016; Bybee, 2006; Pedaste et al., 2015) o la que mostrábamos antes en la figura 3 (NRC, 2012). Uno de los más utilizados fue el Ciclo de enseñanza de las 5E (5E *learning cycle*) propuesto por (Bybee, 2006) el cual organiza la enseñanza en cinco etapas: *Engagement* / Enganchar, *Exploration* / Exploración, *Explanation* / Explicación, *Elaboration* / Elaboración y *Evaluation* / Evaluación.

Otros modelos más recientes adaptados por Jiménez-Liso (2020) y Jiménez-Liso et al. (2019), han supuesto la base para el desarrollo de secuencias de enseñanza-aprendizaje de esta tesis doctoral (figura 5). En el interior del círculo se proponen las fases que ha de realizar el alumno y fuera del mismo hace referencia a la secuencia instruccional. En él, la autora sugiere la posibilidad de empezar trabajando a partir de un modelo consensuado por el alumnado. El esquema que se presenta ilustra el ciclo de indagación como una secuencia de actividades no necesariamente lineal, que orienta la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva activa, reflexiva y significativa.

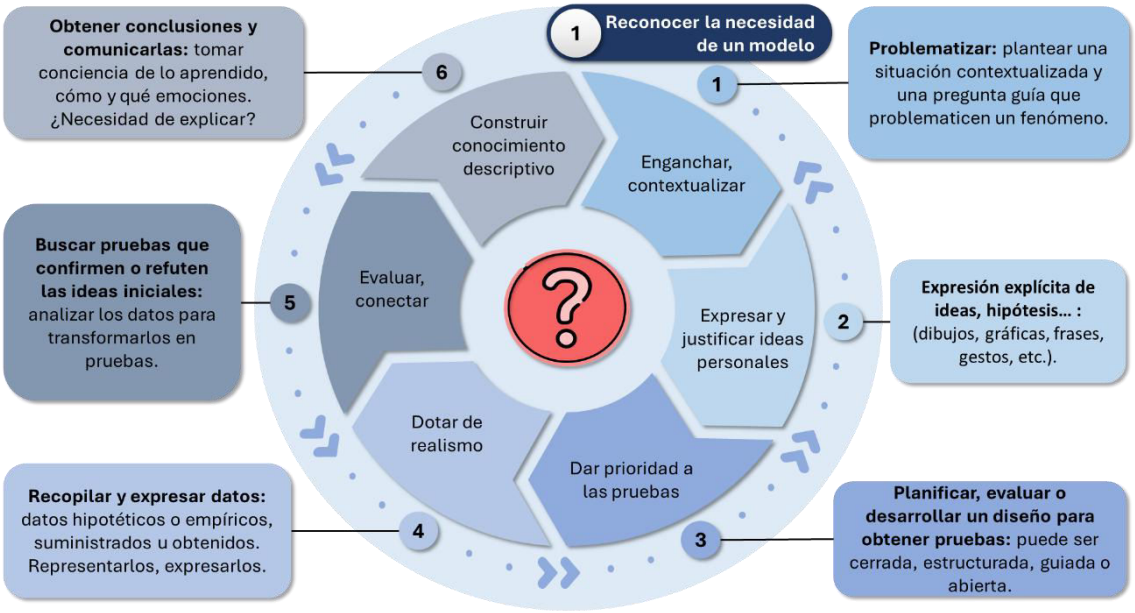


Figura 5. Esquema del ciclo de la indagación en el que se representan en el centro las fases para su práctica y fuera del círculo, las fases de la secuencia para su instrucción. Elaboración propia a partir de Jiménez-Liso, (2020).

Este ciclo se alinea con otros métodos de indagación: "aprendizaje basado en preguntas" (Teixeira-Dias et al., 2005), "enseñanza de las ciencias centrada en el estudiante" (Chin y Chia, 2004), "indagación abierta" (Banchi y Bell, 2008), "indagación basada en preguntas de los estudiantes" (*Student-Question-Based Inquiry*, SQBI), siendo este último el único que pone el foco en que las preguntas han de ser explícitamente formuladas por el alumnado (Herranen y Aksela, 2019).

2.2.1.3 Tipos de enseñanza indagatoria

El proceso de enseñanza por indagación puede categorizarse en cuatro tipos o niveles si atendemos al grado de andamiaje proporcionado por el docente, es decir, en función de quién asume el control del proceso (tabla 4) (Blanchard et al., 2010; Vorholzer y Aufschnaiter, 2019).

Las actividades de confirmación o verificación representan el nivel más bajo de autonomía por parte del alumnado, y en muchos casos ni siquiera se clasifican como auténtica indagación (Bevins y Price, 2016b). A medida que se incrementa la participación activa del estudiante, encontramos la indagación estructurada, que permite algo más de libertad, seguida por la indagación guiada, que concede un mayor grado de independencia. Solo en el caso de la indagación abierta, los estudiantes tienen la posibilidad de formular sus propias preguntas, diseñar y ejecutar sus investigaciones, e interpretarlas a partir de sus conocimientos científicos previos.

Tabla 1. Niveles de indagación según la implicación del docente y el alumnado (Blanchard et al., 2010). Elaboración propia.

Nivel de indagación	Fuente de la pregunta	Diseño del procedimiento	Interpretación/solución de resultados
Nivel 0: Verificación	🔵	🔵	🔵
Nivel 1: Estructurada	🔵	🔵	⚫
Nivel 2: Guiada	🔵	⚫	⚫
Nivel 3: Abierta	⚫	⚫	⚫
🔵 = control del docente ⚫ = control del alumnado			

Se ha constatado que los niveles 2 (guiada) y 3 (abierta) mejoran las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia (Lazonder y Harmsen, 2016). Respecto a esto, muchos autores (Bunterm et al., 2014; Couso, 2014; Jiménez-Liso, 2020) consideran que con el enfoque de enseñanza por indagación, y estando acompañado y guiado por el docente en contextos cercanos dentro de su entorno o zona de desarrollo del alumnado, además de contenido científico, éste aprende qué es la ciencia, aprende cómo se construye y aprende a hacer ciencia. Esto genera una actitud positiva hacia la misma y, sobre todo, ayuda al desarrollo del pensamiento crítico cuando ponen en duda cualquier afirmación que no esté sustentada en evidencias (Jiménez-Liso, 2020).

2.2.1.4 Consideraciones y buenas prácticas para el desarrollo de la indagación en las escuelas

Autoras como Couso (2014) defienden que una indagación auténtica debe contemplar el hecho de tener que construir explicaciones y modelos, y que, además, integren teoría y datos. Del mismo modo, un marco educativo que integre la tecnología y sus herramientas e instrumentos, no sólo pueden mejorar la indagación científica al facilitar la recolección de datos y evidencias, sino también la comprensión de conceptos

científicos abstractos, sirviendo de gran ayuda a los docentes para implementar prácticas de indagación más efectivas (Kim et al., 2007). En esta misma línea, algunos marcos curriculares como los de Chile (Mineduc, 2009) vienen también recomendando actividades como el registro de datos y el ordenamiento e interpretación de la información para construir hipótesis y explicaciones, para que la argumentación y el debate se organicen en torno a controversias y problemas de interés público, en el que se pueda discutir acerca a implicaciones éticas y socioambientales relacionadas con la ciencia y la tecnología (Vergara y Cofré, 2012).

Por su parte, Jiménez-Liso (2020) y Herranen y Aksela, (2019) apuntan hacia la importancia de formular preguntas adecuadas, investigables, cercanas y relevantes para el alumnado, que el profesorado ha de guiar de forma secuenciada. Además, la autora subraya que el profesorado debe tomar conciencia de las emociones que tienen lugar cuando se trabaja a través de la indagación ya que aprender supone emocionarse, y muchas de estas emociones (vergüenza, aburrimiento e inseguridad) podrían suponer un bloqueo para el alumnado (Jiménez-Liso, 2020). El compromiso emocional y cognitivo, junto con la curiosidad, juegan papel fundamental en el desarrollo de las habilidades de indagación de los estudiantes en las aulas de ciencias (Wu y Wu, 2020).

2.2.2 La modelización en ciencias: qué y para qué

> "La empresa científica no se reduce a los productos teóricos obtenidos por la ciencia, sino que incluye la actividad de generarlos" (Couso, 2020, p. 64).

La modelización no se trata de un simple recurso puntual, sino una verdadera práctica esencial y transversal de la educación científica desde infantil hasta secundaria, que debe integrarse de manera continua a lo largo de toda la experiencia educativa (Chamizo, 2006; NGSS (*Next Generation Science Standards*), 2013; Oliva y Aragón-Méndez, 2009). La modelización supone una competencia esencial para la alfabetización científica (Chiu y Lin, 2019) y, en este sentido, no se limita únicamente a la comprensión de los modelos en la enseñanza escolar de la ciencia, sino que también abarca su utilización, construcción y revisión. Además, implica reflexionar y debatir sobre ellos, reconociendo su importancia, utilidad, naturaleza provisional y su capacidad de transformación, así como sus limitaciones (Aragón et al., 2014; Blanco-López et al., 2018).

Según la RAE (Real Academia Española), en sus diferentes acepciones y en el ámbito que nos ocupa, se define a modelo como "arquetipo o punto de referencia para

imitarlo o reproducirlo", también lo define como "representación" o "esquema teórico en forma matemática de un sistema o realidad compleja". En la enseñanza de las ciencias naturales Giere (1992), a través de Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich (2009, p. 46), propuso una definición bastante completa de los modelos como: "cualquier representación subrogante, en cualquier medio simbólico, que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema que se está estudiando" haciendo hincapié que, además de modelos altamente abstractos, también son consideradas las imágenes, tablas, maquetas... siempre y cuando éstas den lugar a poder "describir, explicar, predecir e intervenir" los fenómenos. En este sentido, distinguimos que los modelos son instrumentos mediadores entre la teoría y la realidad y que representan las unidades básicas del razonamiento científico (Oliva y Aragón-Méndez, 2009), mientras que la modelización consiste en el en crear representaciones simplificadas de fenómenos u objetos para describirlos, explicarlos o hacer predicciones sobre ellos (Oh y Oh, 2011), siendo esta la esencia de pensar y trabajar científicamente (Oliva y Aragón-Méndez, 2009).

Una característica esencial a destacar de los modelos es su utilidad (Oliva y Aragón-Méndez, 2009), ya que es fundamental para el aprendizaje de las ciencias (Wang et al., 2015). En el aula de ciencias, el profesorado puede utilizar modelos para mostrar cómo funcionan las cosas y explicar conocimientos científicos complejos, mientras que el alumnado debe tener oportunidades para participar en diversas actividades de modelización como la exploración, expresión, construcción, aplicación y revisión de modelos (Oh y Oh, 2011). En cuanto a su propósito, recopilamos los descritos por varios autores (NGSS, 2013; Oliva, 2019a; Schwarz et al., 2009) que caracterizaron algunas de las finalidades de la modelización en ciencias y que deben reflejarse en el aula:

- Representar, ilustrar o describir fenómenos (uso tradicional en el contexto escolar).
- Recoger datos, al permitir la simulación o el análisis de sistemas complejos.
- Predecir comportamientos, fenómenos, validando hipótesis mediante inferencias basadas en evidencia, así como comunicar ideas para transmitir conocimiento.

2.2.2.1 La modelización como herramienta de construcción de conocimiento

Los modelos son herramientas para dar sentido y construir conocimiento (Schwarz et al., 2009), son los productos de la ciencia (Oliva y Aragón-Méndez, 2009) en un dominio dado a partir de la comprensión que emerge del manejo guiado de los mismos (Oliva, 2021). La modelización está estrechamente ligada a otras prácticas clave como el

planteamiento de preguntas y problemas, al diseño de investigaciones, al análisis de la interpretación de datos, a la argumentación basada en pruebas o evidencias y a la evaluación y comunicación de información científica (NGSS, 2013).

Esto supone un cambio conceptual importante que hace que los modelos en las aulas de ciencias dejan de ser simplemente entidades impuestas, ajenas e inalterables al alumnado (Oh y Oh, 2011). Con base a esto, se trata de trabajar a través de la modelización para que el alumnado desarrolle habilidades, competencias y conocimiento científico a través de su construcción y validación, para dar sentido a los fenómenos del mundo del que forman parte. Existen múltiples recursos instrumentales para apoyar la modelización en el aula de ciencias y sus buenos resultados dependen de su calidad y la forma en la que se usan (Couso, 2020). Oliva (2021) recopiló y clasificó algunos recursos de interés para la modelización (tabla 5) que hemos sintetizado y generalizado en la siguiente tabla:

Tabla 5. Recursos de interés para la modelización. Modificado de Oliva (2021). Elaboración propia.

Recurso	Descripción	Ejemplificaciones
Analogías	Relaciones entre dos ámbitos, uno conocido y otro más abstracto, con la finalidad de comprender al segundo a partir del primero	Comparar el sistema circulatorio con una red de carreteras por donde circulan los coches (la sangre) distribuyendo recursos.
Metáforas	Comparaciones implícitas presentes en el lenguaje, a través de expresiones figuradas que conectan ideas abstractas con conceptos familiares	Decir que "el ADN es el libro de instrucciones de la célula" o que "la selva amazónica es el pulmón de la Tierra".
Personificaciones	Recurso en el que se utiliza el cuerpo del alumnado como representación física de un sistema o proceso, simulando su comportamiento.	Representar con movimientos corporales cómo se comportan las partículas en los estados sólido, líquido y gaseoso.
Modelos físicos: maquetas, modelos a escala, modelos mecánicos, dispositivos analógicos	Objetos materiales diseñados para representar estructuras reales, facilitando su visualización a distinta escala o con componentes simplificados.	Construir una maqueta de una célula con plastilina para mostrar sus orgánulos o usar engranajes de madera para explicar una reacción en cadena.
Experimentos mentales	Propuestas imaginadas que no se llevan a cabo en la realidad, pero que permiten anticipar o razonar sobre lo que ocurriría en determinadas condiciones.	Imaginar cómo se movería un objeto si no existiera la gravedad en la Tierra, o pensar qué pasaría si la luz tardara un segundo en llegar a nuestros ojos.
Simulaciones y otros recursos digitales dinámicos: animaciones, realidad virtual o realidad aumentada.	Representaciones digitales y dinámicas que modelan el funcionamiento de fenómenos o sistemas, facilitando su exploración visual e interactiva.	Usar una simulación interactiva para explorar cómo cambia la presión de un gas al modificar el volumen del recipiente o para observar el ciclo del agua en tiempo real.

Resulta importante recalcar que estos modelos científicos escolares no son versiones simplificadas o incompletas de los modelos de la ciencia profesional, sino que se trata de reconstrucciones didácticas del conocimiento científico consensuado con la finalidad de favorecer su enseñanza y aprendizaje (Duit et al., 2012). De igual forma, es conveniente tener en cuenta que el desarrollo evolutivo de las concepciones o ideas que tiene el alumnado, puesto que estas pueden ayudar a guiar y planificar el aprendizaje para acercarse hasta los modelos científicos escolares (Caamaño, 2011; Couso, 2020; Oliva, 2019a).

Dicho esto, ha de tenerse en cuenta que para que el alumnado sea capaz de construir modelos para formular explicaciones científicas basadas en evidencia empírica,

implica no solo comprender el contenido, sino desarrollar algunas habilidades cognitivas complejas: razonamiento deductivo, abductivo y pensamiento creativo (NGSS, 2013). Del mismo modo, ha de adquirir competencias relacionadas con la expresión, uso, la evaluación y revisión de las ideas o modelos que el alumnado emplea para predecir fenómenos (Couso, 2020), así como a de la propia naturaleza de los modelos, que implica entender sus propósitos, sus procesos y las características que emanan de él para su enseñanza en las aulas de ciencias.

Autores como Papaevripidou et al. (2014), y posteriormente más desarrollado por Oliva (2019), presentaron un modelo competencial (figura 6) para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias:

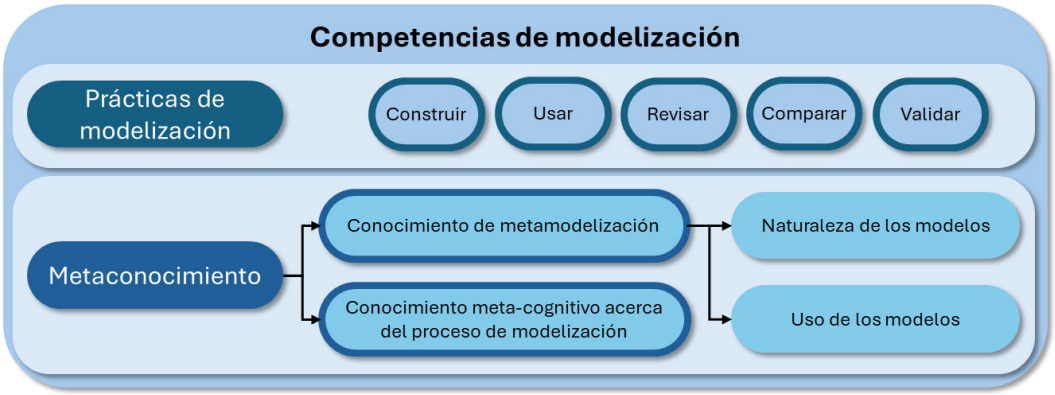


Figura 6. Modelo competencial con los componentes de las competencias de modelización (Oliva, 2019a; Papaevripidou et al., 2014). Elaboración propia

Es por ello que, en contraposición con la indagación al uso, los modelos que se construyen no son únicamente descriptivos o empíricos, sino interpretativos y conjeturales (Couso, 2014). En este sentido, la modelización científica en el aula se concibe como una práctica compleja que, además de implica competencias como construir, aplicar, comparar, validar y revisar modelos para explicar y predecir fenómenos, requiere el dominio de dimensiones metacognitivas, como la reflexión sobre el propio proceso de modelización y la comprensión de la naturaleza cambiante y funcional de los modelos (Oliva, 2019a).

2.2.2.2 Un modelo para la enseñanza de la modelización

La enseñanza-aprendizaje basada en modelos ha sido definida como aquella que permite diseñar para "sostener el desarrollo y la evolución de los modelos mentales de los alumnos" (Buckley, 2012, citado en Oliva, 2019, p. 6). Según Schwarz et al. (2009) y Justi (2011), llevar a cabo prácticas de modelización en el aula involucra cuatro aspectos:

- Construcción y expresión de modelos: Los estudiantes elaboran modelos coherentes con evidencias previas y teorías, y los expresan en diversos formatos como representaciones verbales, gráficas, algebraicas, entre otros.
- Uso de modelos en distintos contextos: Aplican los modelos construidos para ilustrar, explicar o predecir fenómenos en diferentes situaciones o escenarios científicos.
- Evaluación y comparación de modelos: Comparan distintos modelos evaluando su capacidad para representar patrones en los fenómenos, su precisión, limitaciones y su utilidad para predecir nuevos comportamientos o resultados.
- Revisión y mejora de modelos: Modifican y perfeccionan los modelos teniendo en cuenta nuevas evidencias o aspectos no considerados previamente, con el fin de aumentar su poder explicativo, predictivo o descriptivo.

Según Oliva (2019), la modelización proporciona criterios para poder seleccionar contenidos de referencia, para poder ejecutarse en contextos de aprendizaje apropiados, e incluso para el diseño de secuencias de actividades o ciclos de aprendizaje coherentes con el proceso de modelización. Uno de estos ciclos es el propuesto por Couso (2020) (figura 7) que han servido como referencia en esta tesis.

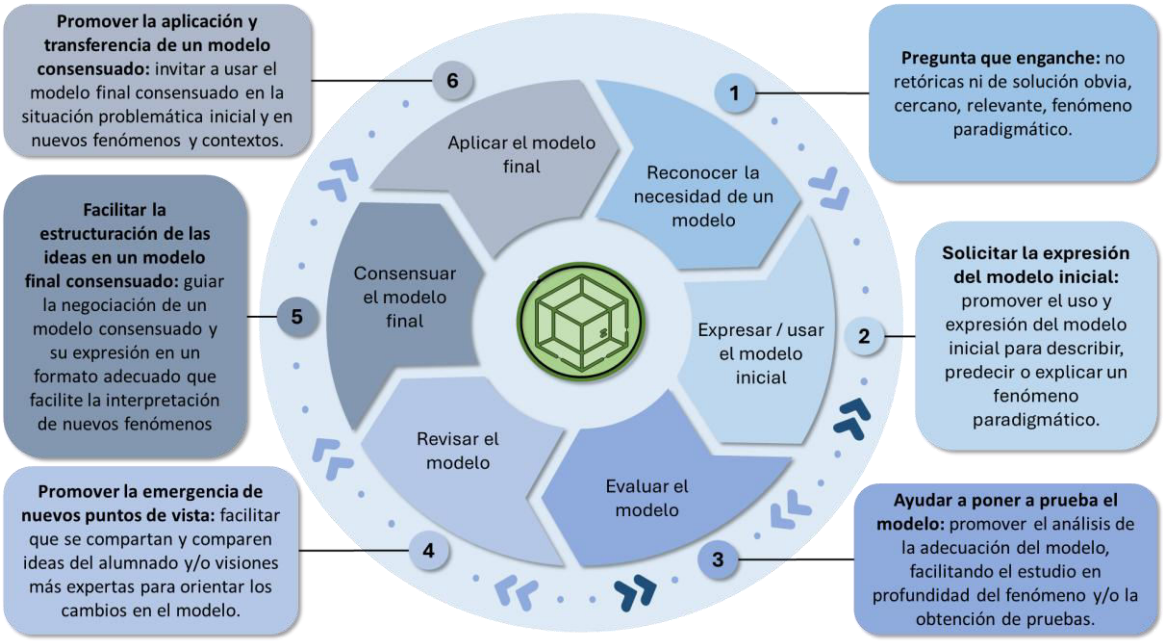


Figura 7. Esquema del ciclo de la modelización en el que se representan en el centro las fases para su práctica y, fuera del círculo, las fases de la secuencia para su instrucción. Elaboración propia a partir de (Couso, 2020).

Este tipo de modelos representados en ciclos o subciclos de modelización permiten determinar la progresión de los modelos en el alumnado mediante la revisión de

los modelos iniciales, así como la expresión y el manejo de los modelos finales (Galera Flores et al., 2023). Para Couso (2020), la enseñanza de las ciencias centrada en la modelización supone la consecución de diferentes etapas en la que se requiere una cultura de aula, un papel docente y unos recursos didácticos diferentes a los habituales en las aulas de ciencias. Este papel del profesorado es muy importante pues precisa un importante conocimiento didáctico del modelo científico y ha de focalizarse en promover estrategias dialógicas de retroalimentación, animando al alumnado a clarificar, comparar y cuestionar. Esto abarca una dimensión evaluativa y epistémica que conecta directamente con una comprensión más profunda del carácter de la ciencia como disciplina basada en la crítica, la revisión y la validación de ideas (NGSS, 2013). La evaluación y puesta a prueba constante del modelo empírica y conceptualmente es necesaria, ya que éste puede cambiar y mejorar a medida que se desarrolla el conocimiento científico (Oh y Oh, 2011).

Según, Oliva (2019) este ciclo ha de interpretarse como una visión o marco global para entender la modelización, lo cual no implica que este proceso deba llevarse a cabo de forma íntegra en todo momento, ya que también se consideran válidas aquellas prácticas que trabajen solo una o varias etapas del ciclo.

2.2.2.3 Consideraciones y buenas prácticas para la modelización en las aulas de ciencias

Autoras como Couso (2020) invitan a despertar el interés del alumnado en temas seleccionados por el profesorado y que consideren importantes para su alfabetización. Estos han de mantener su interés y motivación a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje ya que, además, resultan irrelevantes si los presentamos antes de que presente la necesidad de describir, explicar o predecir un fenómeno. En este sentido, es importante proponer fenómenos científicos significativos o problemas reales, ya que estos permite al alumnado vincular la modelización con contextos del mundo real, lo cual favorece tanto su comprensión como su motivación (Gilbert, 2004; Ifqiren et al., 2023; Lin et al., 2021). Otros autores como Oliva (2019), recomiendan como útiles las maquetas, dibujos y simulaciones para que ayudan a representar de una forma no abstracta el modelo, siendo más fácil ponerlo a prueba y revisarlo.

2.2.3 Indagación Basada en Modelos (MBI)

Las propuestas educativas que más se demandan por parte investigación educativa son aquellas modalidades de IBSE que otorgan más importancia a la construcción de modelos, e incluso también a la argumentación científica (Couso, 2014; Soysal, 2021; Wang et al., 2015). Diversas investigaciones han señalado dos problemas clave en la enseñanza de las ciencias: la escasa comprensión conceptual y una visión limitada de la ciencia. Para superarlos, se proponen enfoques activos que integran la comprensión de modelos científicos y la participación en prácticas auténticas como la indagación y la modelización, entendidas como prácticas interrelacionadas (Caamaño, 2011).

Según López-Gay et al. (2024) y Windschitl et al. (2008), es pertinente que las SEAs (Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje) de contenido científico sean cuidadosamente elaboradas con un enfoque se enseñanza por Indagación Basada en Modelos (MBI, *Model-Based Inquiry*) pues estas se organizan desarrollando prácticas científicas comunes como: expresar y discutir de ideas personales, la recopilación de evidencias para su análisis y la obtención y uso de conclusiones (proceso de indagación), junto con el diseño, creación o construcción, aplicación y evaluación de modelos (proceso de modelización). Este enfoque parte de la idea de que todas las disciplinas científicas se guían por modelos que permiten construir explicaciones y explorar fenómenos, aportando una visión más realista que el método científico tradicional y postulándose como una herramienta potente para guiar la planificación curricular y la enseñanza en cualquier área de las ciencias escolares (Passmore et al., 2009).

En el aula, los modelos ofrecen marcos de referencia para observar fenómenos y formular hipótesis comprobables mediante experimentos reales o mentales, realizados dentro o fuera de la misma (Oh y Oh, 2011). Mediante el enfoque MBI, los modelos se generan, usan y son revisados de forma continua y explícita, también permitiendo extraer datos de ellos para poder interpretarlos y entenderlos como evidencias a través de él (Couso, 2014; Passmore et al., 2009).

Jiménez-Liso et al. (2023) proponen, para llevar a cabo propuestas de MBI, separar el ciclo de la indagación del de la modelización (figura 8), con el objetivo de diferenciarlos y así facilitar la identificación del conocimiento descriptivo que da lugar a la necesidad de una explicación mediante modelos. Además, los autores añaden el “ciclo emocional” reconociendo la importancia de considerar los aspectos afectivos en el aprendizaje de las

ciencias, especialmente las emociones y su autorregulación. Esta inclusión se justifica por el hecho de que este tipo de enfoques educativos incrementan significativamente la participación emocional y cognitiva en el alumnado (López-Banet et al., 2021)

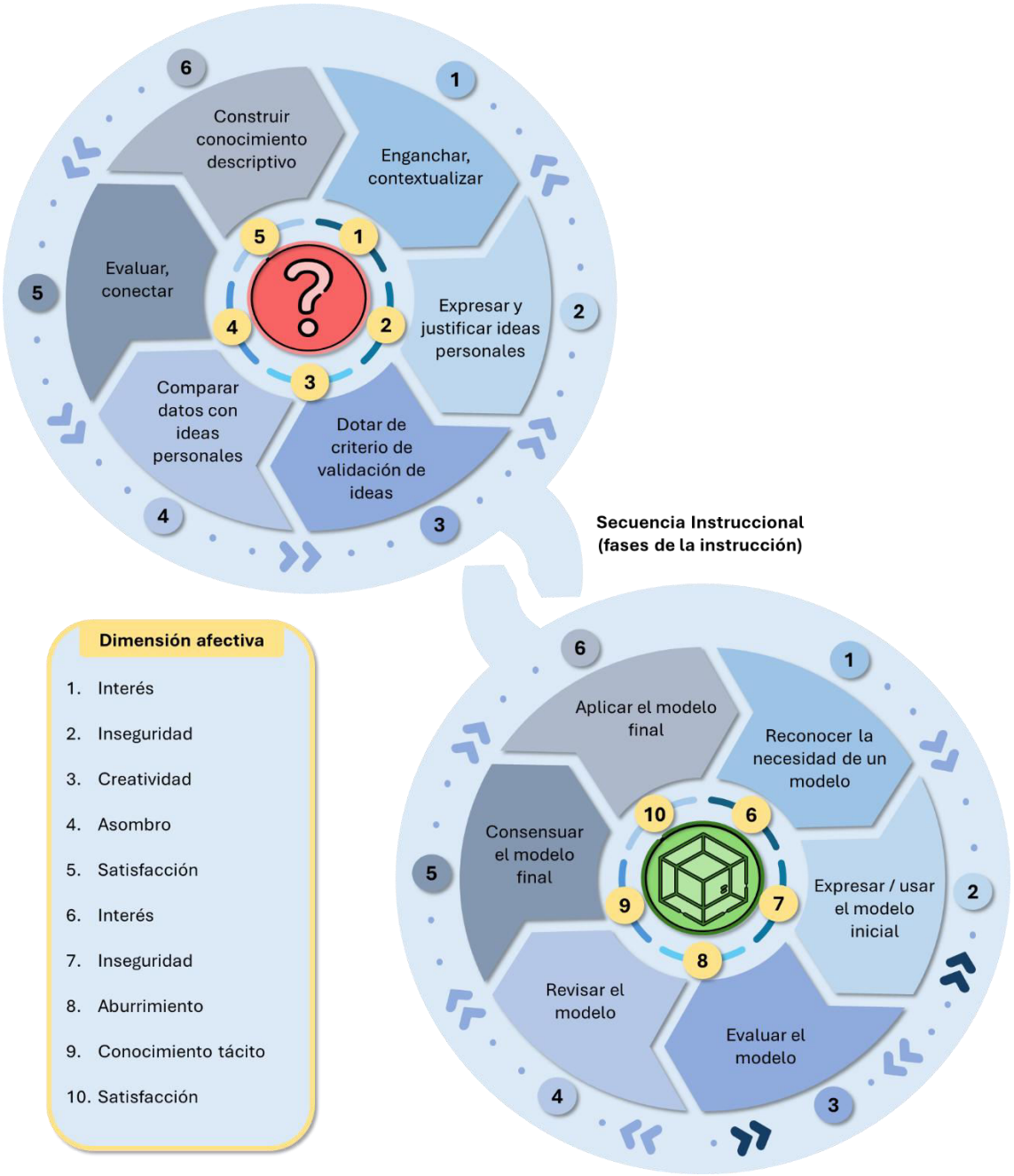


Figura 8. Ciclos de indagación y modelización con la dimensión afectiva, (adaptado de Jiménez-Liso et al., 2023). Elaboración propia.

Para llevar a cabo este tipo de propuestas, es de gran relevancia no sólo que el profesorado tenga formación en las prácticas de indagación, modelización y argumentación, sino también se demanda una competencia para crear situaciones de

enseñanza-aprendizaje y su evaluación (Couso, 2014), así como una competencia digital, pues las propuestas MBI, al estar respaldadas por la tecnología, mejoran significativamente el rendimiento del alumnado de ciencias (Lei et al., 2016). Además, si esta formación es guiada hace que el alumnado se vuelva más competente (Windschitl et al., 2008).

En este marco, la investigación, la innovación y la evaluación de secuencias didácticas aportan resultados muy interesantes que deben considerarse al abordar la relación entre modelización, indagación y el contexto (Caamaño, 2011). Pero la integración de estos enfoques supone un problema complejo, ya que diseñar propuestas didácticas contextualizadas (figura 9), requiere encontrar el sentido y el valor (entre otras consideraciones) que éstas pueden tener para facilitar al alumnado abordar problemas relevantes de su vida diaria (Blanco-López et al., 2018).

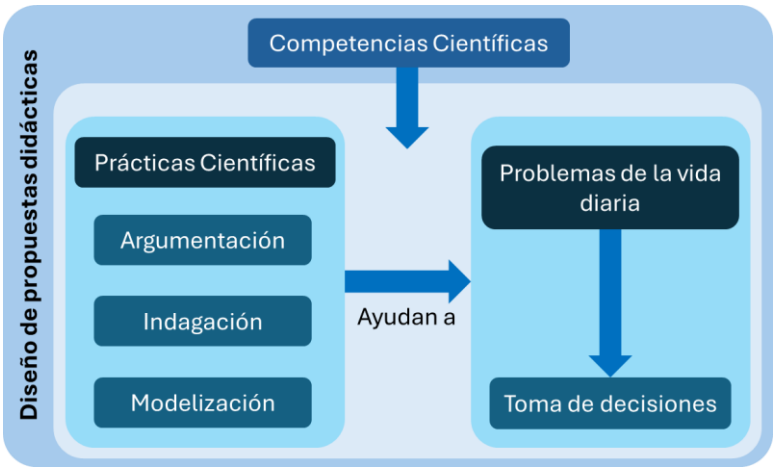


Figura 9. Elementos para el diseño de propuestas didácticas (Blanco-López et al., 2018). Reelaboración propia a partir del original.

Si bien el modelo de Blanco-López et al. (2018) constituye una referencia fundamental para el diseño de propuestas didácticas contextualizadas y con sentido para el alumnado, es necesario complementarlo con marcos que respondan de forma más directa a las demandas actuales en materia de evaluación y desarrollo de competencias digitales comentadas anteriormente. La incorporación de prácticas de ingeniería y el uso integrado de herramientas tecnológicas en el aula implican asumir nuevas formas de enseñar y aprender ciencias, más cercanas al trabajo real de la comunidad científica y tecnológica. En esta línea, el *National Research Council* (NRC, 2012) propuso un modelo (figura 10) que representa las tres esferas de actividad que articulan el trabajo de científicos e ingenieros: la investigación empírica, el desarrollo de explicaciones o soluciones, y la evaluación a través de la argumentación, el análisis y la revisión crítica. Su

estructura permite comprender cómo estas prácticas se entrelazan en procesos cíclicos que pueden trasladarse al aula como eje vertebrador de experiencias científicas auténticas, al tiempo que ofrecen una base coherente para orientar su evaluación en aspectos como la revisión de datos, la calidad de las explicaciones y soluciones, o la validez de los modelos desarrollados.

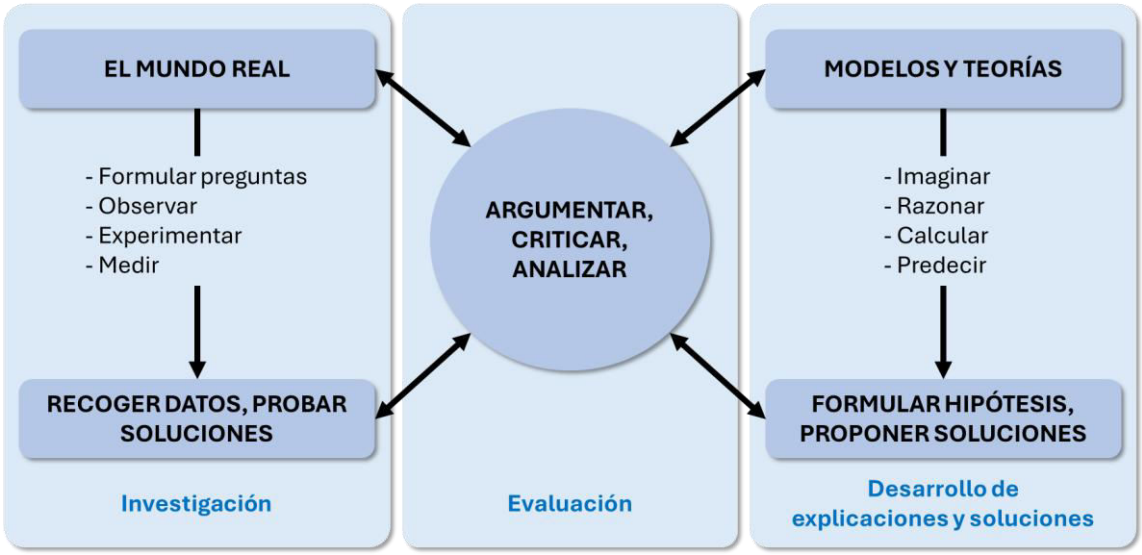


Figura 10. Las tres esferas para la articulación de las prácticas científicas y de ingeniería en el aula. Elaboración propia a partir de NRC (2012).

En cualquier caso, e independientemente del modelo de enseñanza y aprendizaje adoptado, aprender a investigar es tan importante que en la enseñanza debe permitírsele al alumnado, al menos en alguna ocasión, el participar en una investigación realmente genuina (Couso, 2014). Ésta investigación ha de ser compleja, socialmente relevante y significativa para el alumnado y, en este sentido, ha de tenerse en consideración que todo proceso de indagación o modelización requiere partir de un contexto fenomenológico (ya sea un suceso, una pregunta o un problema) que le dé sentido (Caamaño, 2011).

En definitiva, para alcanzar la alfabetización científica de la ciudadanía, ya Gil-Pérez y Vilches (2005) defendían que el aprendizaje de las ciencias debe entenderse como un proceso de investigación debidamente orientada por el profesorado, creativa y con sentido, y que estuviera inspirado en el trabajo real de la comunidad científica y tecnológica. De igual forma, este enfoque contempla una serie de elementos clave que Gil-Pérez y Vilches (2005) enumeraron con la finalidad de permitir al alumnado construir conocimiento significativo, desarrollar competencias científicas y participar activamente en la toma de decisiones informadas:

- Planteamiento de situaciones relevantes, que generen interés en el alumnado y estén conectadas con problemáticas sociales, ambientales y tecnológicas actuales.
- Estudio cualitativo inicial de dichas situaciones, formulación de preguntas operativas y explicitación de concepciones previas.
- Emisión de hipótesis y diseño de estrategias de resolución, incluyendo la planificación y ejecución de experimentos, así como el tratamiento tecnológico de los problemas surgidos.
- Análisis de resultados y comunicación, tanto entre iguales como en referencia a la evolución del conocimiento científico, favoreciendo el conflicto cognitivo y la autorregulación del aprendizaje.
- Recapitulación y conexión interdisciplinar, estableciendo puentes entre disciplinas científicas y promoviendo la reflexión crítica sobre las implicaciones CTSA de los conocimientos construidos.
- Síntesis final del proceso, a través de la elaboración de memorias, esquemas o productos tecnológicos, que refuercen el carácter estructurado, coherente y aplicable del conocimiento científico.

2.3 El pensamiento computacional: qué y para qué

Según el último Informe de Seguimiento de la Educación Global (UNESCO, 2024), nos encontramos en un momento en el que los sistemas educativos deben estar mejor preparados para enseñar sobre tecnología educativa y cómo utilizarla en la enseñanza de las ciencias. En este contexto, una implicación clave es la necesidad de integrar de manera estrecha las actividades de pensamiento computacional en los planes de estudio de ciencias, ya que la ciencia moderna depende cada vez más de herramientas y métodos computacionales (Aslan et al., 2024; Weintrop et al., 2016), y que la ciudadanía precisa de habilidades para desenvolverse en la sociedad digital (Li et al., 2020a).

Del mismo modo, el pensamiento computacional se ha convertido en un ingrediente de suma relevancia en el enfoque STEM (*Science, Technology, Engineering and Maths*) (Grover y Pea, 2013; Li et al., 2020a) y en una competencia clave en los sistemas educativos de numerosos países (Ogegbo y Ramnarain, 2022). Estos países integran el pensamiento computacional como parte fundamental de una nueva alfabetización para apoyar al alumnado en la resolución de problemas complejos, poniendo un especial interés en democratizar el conocimiento informático que el alumnado debe tener para

enfrentarse a los desafíos del siglo XXI (Angeli y Giannakos, 2020; Bocconi et al., 2016; Gretter y Yadav, 2016; Li et al., 2020a). Si atendemos al (*National Curriculum in England*, s. f.), se destaca la importancia de "dotar al alumnado de pensamiento computacional" como medio para aplicar las tecnologías de la información en la resolución de problemas, además de desarrollar un uso competente, creativo y crítico de las herramientas digitales. En el contexto español (Real Decreto 217/2022), el currículo reconoce el pensamiento computacional como una competencia transversal presente en varias áreas del currículo, esencial para impulsar el pensamiento crítico y la capacidad de los estudiantes para resolver problemas, fortaleciendo así su comprensión en disciplinas como las ciencias y las matemáticas. Sin embargo, (González et al., 2018) advierten que muchos docentes no cuentan con la formación adecuada para enseñar pensamiento computacional y, en numerosos casos, desconocen de qué se trata y su verdadero alcance.

El término pensamiento computacional fue introducido por primera vez por Jeannette Wing en 2006, quien lo describió como una habilidad orientada a resolver problemas, diseñar sistemas y comprender comportamiento el comportamiento humano, basándose en principios clave de la información, la tecnología y el pensamiento crítico (Wing, 2006). Más adelante, en 2011, amplió su definición señalando que el pensamiento computacional implica los procesos mentales necesarios para formular un problema y expresar su solución de forma que pueda ser ejecutada tanto por una persona como por una máquina (Wing, 2011). En su origen, se trata de una alternativa propuesta primeramente por Seymour Papert (1980), quien ya llevaba décadas hablando acerca de un pensamiento procedimental y creó para ello un lenguaje de programación instruccional de sintaxis sencilla (*LOGO)*, constituyéndose como una herramienta precursora de entornos de programación educativos para poner en práctica las ideas del constructivismo propuestas por Piaget e Inhelder (1970). Desde la perspectiva del construccionismo, la tecnología (y en especial el uso del ordenador) se concibe como un entorno privilegiado que permite al alumnado desarrollar activamente su conocimiento a través de procesos genuinos de construcción personal desde “un sentido de dominio sobre un elemento de la tecnología moderna y de las ideas más profundas de la ciencia, la matemática y el arte de construcción de modelos intelectuales” (Papert, 1987, pp. 17-18), apelando así a la idea de que la programación informática puede contribuir a la articulación de un trabajo mental para el alumnado (Padrón et al., 2021).

A pesar de que la habilidad de manejar el lenguaje de las computadoras se considera un nuevo alfabetismo indispensable para para participar en la actual realidad

digital (Román-González et al., 2017), es necesario poner de relieve que el pensamiento computacional no es sinónimo de saber programar un ordenador, aunque sí es cierto que la programación es una habilidad clave de las ciencias de la computación y una herramienta fundamental para las tareas cognitivas del pensamiento computacional (Grover y Pea, 2017). Aun así, este pensamiento es independiente de los dispositivos tecnológicos (Valverde et al., 2015) y esto significa que se puede promover el pensamiento computacional mediante situaciones y actividades que no precisan del conocimiento o dominio de dispositivos o herramientas digitales, pudiéndose trabajar de forma desenchufada (*unplugged computational thinking*, en inglés) (Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019).

Revisiones sistemáticas como las de Quiroz-Vallejo et al. (2021) resaltan la carencia de pensamiento computacional desenchufado en las aulas de primaria y secundaria y además, aportan una distinción entre dos conceptualizaciones existentes en la bibliografía sobre el pensamiento computacional (figura 11). Por un lado, el pensamiento computacional se concibe como un recurso metodológico transversal, es decir, como una forma de pensar aplicable a cualquier disciplina que facilita el aprendizaje de contenidos curriculares a través de procesos como la abstracción, la descomposición o pensamiento lógico. Por otro lado, éste se presenta también como un componente de las ciencias de la computación, entendido como un conjunto de habilidades técnicas vinculadas a la programación, al desarrollo de algoritmos o al uso de tecnologías emergentes. Esta visión busca que el alumnado desarrolle competencias propias de un "científico de la computación", promoviendo la formulación de problemas desde un enfoque computacional y el diseño de métodos para resolverlos, y alineándose con las definiciones propuestas por Wing (2006).



Figura 11. Distintas conceptualizaciones del pensamiento computacional (Quiroz-Vallejo et al., 2021).

Con el objetivo de establecer una definición concreta, la *International Society for Technology in Education* (ISTE) y la *Computer Science Teachers Association* (CSTA), junto con expertos de distintos niveles educativos y del sector tecnológico, desarrollaron una definición operativa de pensamiento computacional consensuada por más de 700 profesionales del ámbito de la informática y de la educación, definiéndolo como un proceso cognitivo orientado a la resolución de problemas que combina la capacidad de formular situaciones de manera que puedan ser abordadas con herramientas tecnológicas, con la habilidad para organizar y analizar datos lógicamente, representarlos mediante modelos o simulaciones, y diseñar soluciones a través de secuencias ordenadas de pasos (pensamiento algorítmico) (ISTE y CSTA, 2011). Dicho de otro modo, son los procesos de pensamiento involucrados en la actividad de investigación para la resolución de problemas comunes que surgen en la computación (Aho, 2011). Además, implicaría la evaluación crítica y la implementación de soluciones eficaces, teniendo en cuenta la optimización de recursos y procesos, así como la transferencia de este enfoque a múltiples contextos y disciplinas, exigiendo también una actitud proactiva frente a la complejidad y la capacidad de actuar en contextos ambiguos donde no siempre existe una única respuesta (ISTE y CSTA, 2011).

Esto implica que el alumnado adopte nuevas formas de pensar y se exprese utilizando distintos lenguajes o medios, y aborde tanto situaciones reales como cuestiones cotidianas desde perspectivas innovadoras (Bocconi et al., 2016). Es por todo esto que el pensamiento computacional se erige como una competencia clave de alto nivel (Valverde et al., 2015), que despliega un conjunto de habilidades fundamentales para la vida de la ciudadanía, ya que permiten afrontar problemas tanto científicos como tecnológicos

(Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019). Estas habilidades a las que nos referimos fueron descritas por el *National Research Council* estadounidense (NRC, 2011) y Barr et al. (2011) para la ISTE, y que se muestran a continuación (tabla 6) junto a las características y disposiciones anteriormente comentadas del pensamiento computacional (ISTE y CSTA, 2011).

Tabla 6. Características, disposiciones y componentes del Pensamiento Computacional (Barr et al., 2011; ISTE y CSTA, 2011; NRC, 2011; Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019). Elaboración propia.

Características del Pensamiento Computacional (ISTE Y CSTA, 2011)	**Disposiciones o actitudes asociadas (ISTE Y CSTA, 2011)**	**Componentes del Pensamiento Computacional** (Barr et al., 2011; NRC, 2011; Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019)
- Formulación eficaz de problemas para que puedan abordarse con herramientas tecnológicas. - Organización y análisis lógico de datos. - Uso de abstracciones, como modelos o simulaciones, para representar información. - Diseño y automatización de soluciones mediante pensamiento algorítmico, es decir, a través de pasos secuenciales. - Evaluación e implementación de soluciones eficientes, optimizando recursos y procesos. - Generalizar y transferir este proceso a una amplia variedad de situaciones o contextos diversos.	- Confianza para enfrentarse a la complejidad. - Persistencia para trabajar con problemas difíciles. - Tolerancia a la ambigüedad. - Capacidad para abordar problemas abiertos, sin una única solución. - Habilidad para comunicarse y colaborar con otros para alcanzar una solución o meta común.	- La reformulación de problemas complejos por reducción o transformación. - Soluciones aproximadas - Procesamiento Paralelo - Verificación de tipos y de modelos como generalizaciones del análisis dimensional. - Abstracción - Descomposición - Representación de problemas - Modularización - Prevención - Pruebas - Depuración - Recuperación y corrección de errores. - Simulación - Razonamiento heurístico - Planificación - Estrategias de búsqueda - Análisis de algoritmos - Procesos - Recursividad - Paralelización - Reconocimiento de patrones - Automatización - Creatividad - Sinéctica - Pensamiento Bayesiano - Trabajo en equipo - Metacognición. - Análisis ascendente y descendente.

Dada la cantidad de componentes que conforman este proceso de resolución de problemas, recientes investigaciones en este campo demuestran que actualmente no hay

un consenso sobre una definición y poco acuerdo que concrete cuáles son los elementos que lo componen (Bocconi et al., 2016; Grover y Pea, 2017), para qué puede ser realmente útil y de qué manera debería integrarse en la educación más allá de enseñar a programar (Ortega-Ruipérez, 2020).

2.3.1 Un acercamiento hacia un modelo teórico del pensamiento computacional para la resolución de problemas

En el intento de concretar los procesos de pensamiento propios del pensamiento computacional, distintas revisiones sistemáticas (Bocconi et al., 2016; Cordenonzi y Del Pino, 2021; Corradini et al., 2017; Csizmadia et al., 2015; Kalelioglu et al., 2016; Muñoz et al., 2023a; Ortega-Ruipérez, 2020; Padrón et al., 2021; Quiroz-Vallejo et al., 2021) coinciden, de forma general, en señalar cinco procesos esenciales: abstracción, generalización, descomposición, creación de algoritmos y evaluación. Bocconi et al. (2016) tienen en consideración además el proceso de depuración, que consiste en identificar, analizar y corregir errores en una solución. Por su parte, Cordenonzi y Del Pino (2021), destacan la resolución de problemas y un primer paso del proceso que es la comprensión del problema como punto de partida para su resolución, ya que permite aplicar conocimientos de forma significativa, facilitando la abstracción y el desarrollo del pensamiento computacional.

La comprensión del problema es el primer paso que postuló el matemático húngaro George Polya (1945) en su obra *How to Solve it*, referente en la enseñanza de la resolución de problemas. Este paso constituye la base para aplicar de manera significativa estrategias como la abstracción o la descomposición, permitiendo organizar el pensamiento de forma jerárquica y contextualizada. En este sentido, el pensamiento computacional, como las ciencias de la computación, se nutre de los procesos heurísticos de resolución de problemas matemáticos, ya que está estrechamente vinculado al pensamiento abstracto-matemático y se articula a partir de proyectos de ingeniería que interactúan con el mundo real (Valverde et al., 2015; Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019). Del mismo modo, aunque el pensamiento computacional no se incorpore explícitamente en los cursos de matemáticas, se ha evidenciado que su abordaje desde una perspectiva sistémica contribuye directamente al desarrollo de competencias matemáticas, especialmente en lo que respecta a la comprensión y comunicación estructurada de problemas apoyándose en el razonamiento lógico (Basogain-Olabe et al., 2015; Li et al., 2020a).

En la siguiente tabla (tabla 7) se propone una correspondencia entre los pasos de Pólya (1945) y los procesos del pensamiento computacional, con la finalidad de mostrar cómo ambos marcos pueden integrarse en el diseño de situaciones de aprendizaje basadas en la resolución de problemas y la programación.

Tabla 7. Relación entre los procesos de resolución de problemas propuestos por Pólya (1945) y los componentes fundamentales del pensamiento computacional. Elaboración Propia.

Proceso resolutivo de Pólya (1945)	**Procesos del pensamiento computacional asociados**
1. Comprender el problema	- Comprensión del problema - Representación del problema
2. Diseñar un plan	- Abstracción - Descomposición - Diseño de algoritmos - Planificación de estrategias lógicas
3. Ejecutar el plan	- Pensamiento algorítmico - Automatización
4. Revisar o reflexionar sobre el proceso	- Depuración - Evaluación de resultados - Generalización y transferencia a nuevos contextos

La organización *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science* (DIMACS, s. f.) en colaboración con la *National Science Foundation* (NSF), define cuatro pilares fundamentales del pensamiento computacional: descomposición, reconocimiento de patrones (generalización), abstracción y creación de algoritmos. Esta propuesta ha sido ampliada por estudios como los de Cordenonzi y Del Pino (2021), quienes aportan la comprensión del problema y los de Bocconi et al. (2016), que contemplan la depuración (evaluación) como parte del proceso. Con base a estas aportaciones, se delimitan los principales procesos del pensamiento computacional que se han considerado en esta tesis doctoral (figura 12):

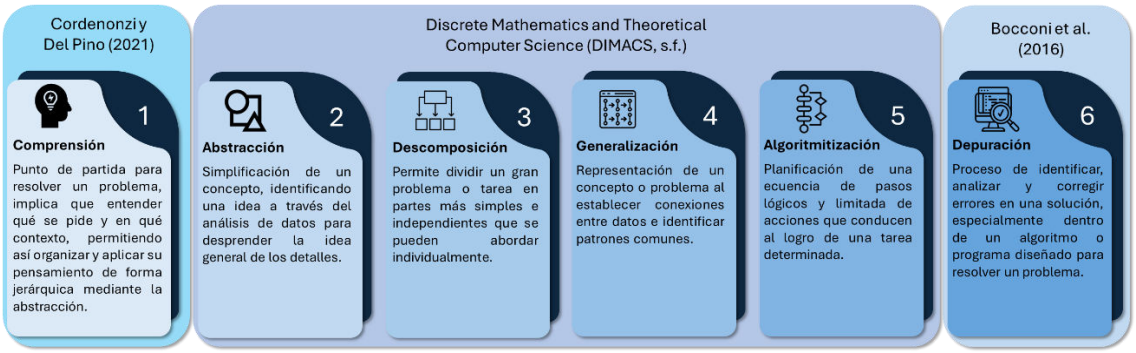


Figura 12. Procesos principales del pensamiento computacional y sus definiciones (Bocconi et al., 2016; Cordenonzi y Del Pino, 2021; DIMACS, s. f.). Elaboración propia.

No obstante, es importante considerar a autores como Kalelioglu et al. (2016), quienes señalan que no es necesario seguir todos estos procesos de forma exhaustiva ni secuencial para que se produzca pensamiento computacional, pues su función principal es ofrecer una estructura útil para diseñar y analizar tareas. Lo relevante es que el alumnado adopte una manera de pensar estructurada, lógica y estratégica ante los problemas, aunque solo pongan en práctica algunos de estos elementos. En esta línea, marcos como los de ISTE y CSTA (2011), y las propuestas de Brennan y Resnick (2012) coinciden en que la presencia de ciertos procesos cognitivos clave (abstracción, descomposición, pensamiento algorítmico y evaluación) es suficiente para identificar una aproximación computacional a la resolución de problemas.

A raíz de esto, los estudios de Ortega-Ruipérez (2020) fueron cruciales para entender que la descomposición no solo forma parte del pensamiento computacional, sino que cumple un papel esencial al actuar como punto de partida para el desarrollo de los demás procesos. La descomposición es un proceso estructural esencial sobre el que se apoyan las demás operaciones cognitivas implicadas pues, al dividir un problema complejo en partes más pequeñas, se facilita la aplicación de operaciones como la abstracción, la generalización, la evaluación o la creación de algoritmos, lo que permite abordar la resolución desde una lógica computacional más efectiva.

Además, Ortega-Ruipérez (2020) presentó un modelo para la aplicación del pensamiento computacional para resolución de problemas complejos mediante un proceso sistemático y organizado (figura 13).

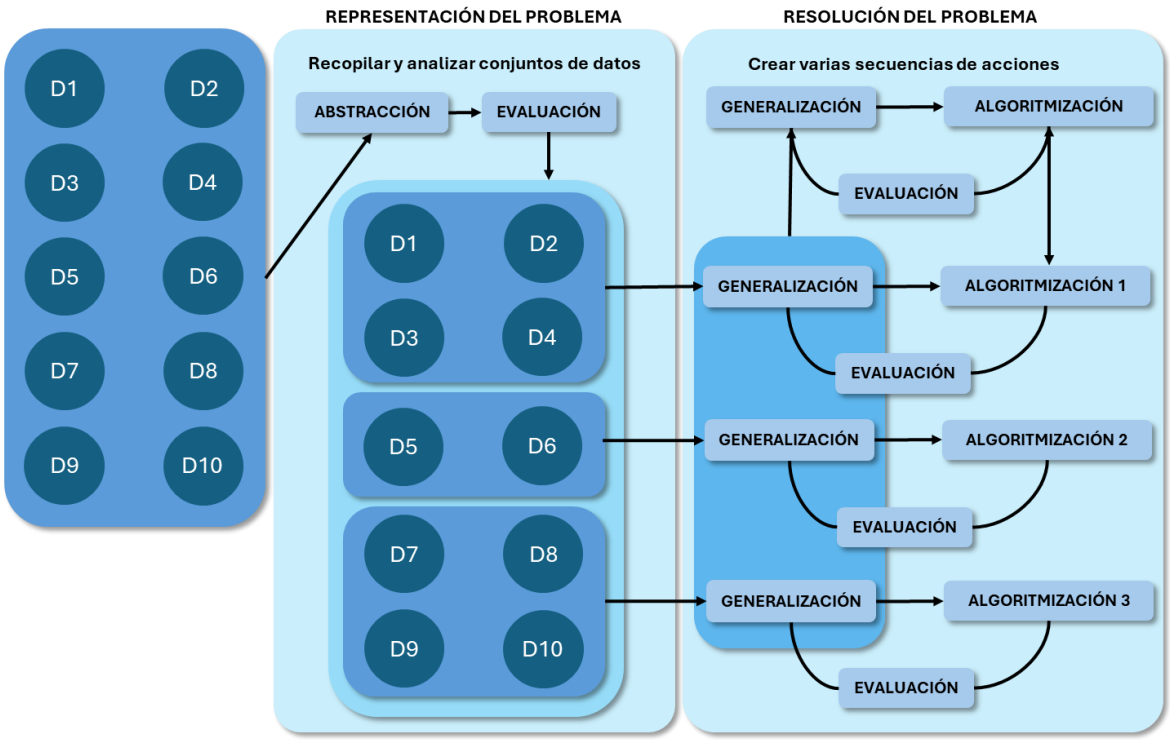


Figura 13. Representación simplificada de los procesos superiores de pensamiento en la resolución de problemas aplicando el pensamiento computacional (Ortega-Ruipérez, 2020). Elaboración propia a partir del original.

En el esquema, el punto de partida es la recopilación de diez datos (D1 a D10), los cuales se agrupan mediante la abstracción en subconjuntos significativos. Esta agrupación permite una evaluación más precisa de cada conjunto, facilitando la representación del problema.

A partir de aquí, el proceso se traslada a la resolución, donde cada conjunto de datos se somete a un ciclo iterativo de generalización, algoritmización y evaluación. Esta dinámica se repite para cada subconjunto de datos, permitiendo diseñar múltiples algoritmos específicos que pueden ser evaluados y modificados independientemente. Lo fundamental de esta representación es que pone de manifiesto el papel central de la descomposición: al dividir el problema en partes más manejables, se facilita el desarrollo del resto de procesos superiores de pensamiento (abstracción, evaluación, generalización y pensamiento algorítmico), reduciendo la complejidad cognitiva y haciendo más eficiente la resolución del problema en su conjunto.

Consecuentemente, la reflexión acerca de los procesos implicados ha dado lugar a diversos modelos orientados al diseño de situaciones de aprendizaje basadas en la resolución de problemas. Entre ellos, destacamos en esta tesis doctoral la propuesta de Weintrop et al. (2016), concebida para contextos educativos en ciencias y matemáticas.

Su modelo (tabla 8) ofrece una base teórica sólida para trasladar sus principios al aula organizando prácticas fundamentales del pensamiento computacional en cuatro componentes interrelacionados: trabajo con datos, modelización y simulación, resolución de problemas computacionales y pensamiento sistémico (entendido este último como la capacidad de analizar fenómenos complejos atendiendo a las relaciones entre sus elementos y al comportamiento global del sistema).

Tabla 8. Taxonomía del pensamiento computacional en ciencia y matemáticas (Weintrop et al., 2016)

Categoría	**Prácticas asociadas**
1. Prácticas con datos	Recoger datos, crear datos, manipular datos, analizar datos, visualizar datos.
2. Modelización y simulación	Usar modelos computacionales para comprender conceptos; encontrar y probar soluciones; evaluar, diseñar y construir modelos computacionales.
3. Resolución de problemas computacionales	Preparar problemas para soluciones computacionales, programar, elegir herramientas eficaces, evaluar enfoques, desarrollar soluciones modulares, crear abstracciones, depurar errores.
4. Pensamiento sistémico	Investigar sistemas complejos como un todo, comprender relaciones entre componentes, pensar en niveles, comunicar información, definir sistemas y gestionar su complejidad.

2.3.2 Algunas herramientas o recursos para el desarrollo del pensamiento computacional en las aulas de educación secundaria

En este epígrafe se presentan las herramientas o recursos concretos utilizados en el marco de esta tesis doctoral. Se considera importante clarificar que no se pretende hacer un inventario exhaustivo, sino ilustrar únicamente aquellas que han resultado clave en el desarrollo de las experiencias didácticas llevadas a cabo. Para facilitar su presentación, se ha optado por una clasificación en dos grandes bloques: software y hardware, abordando en cada uno de ellos los recursos más relevantes para el desarrollo del pensamiento computacional a través de la tecnología en el contexto educativo trabajado.

2.3.2.1 Software

En la actual era digital, la necesidad de que la ciudadanía adquiera competencias en programación ha dado lugar al desarrollo de herramientas que facilitan este aprendizaje, promoviendo al mismo tiempo el desarrollo del pensamiento computacional. Programar se podría definir como dar instrucciones a un ordenador para que realice tareas

mediante un lenguaje que pueda entender. La programación es el nuevo lenguaje de la sociedad digital que permite a las personas no sólo interactuar con la tecnología, sino también crearla (Olalla-García et al., 2024), y se concibe como una competencia central en el ámbito de las ciencias de la computación y, al mismo tiempo, como un instrumento didáctico clave para favorecer los procesos cognitivos asociados al pensamiento computacional, constituyendo además una manifestación explícita del desarrollo de competencias computacionales (Grover y Pea, 2013).

Aunque el estudiantado convive diariamente con las tecnologías digitales, la escuela sigue desempeñando un rol fundamental en la enseñanza y desarrollo de sus competencias digitales (Buskqvist y Johansson, 2024). La codificación (proceso de escribir instrucciones usando un lenguaje de programación) es una herramienta adecuada para expresar y desarrollar pensamiento computacional (Bocconi et al., 2016) y una de las metodologías más destacadas es la programación por bloques (en inglés, *Block-Based Programming*), que utiliza una interfaz visual donde los usuarios, especialmente a estudiantes de educación primaria y secundaria, ensamblan bloques gráficos para crear secuencias instruccionales (figura 14), eliminando la complejidad de la sintaxis textual y permitiendo centrarse en la lógica y estructura del código (Grover y Pea, 2013).

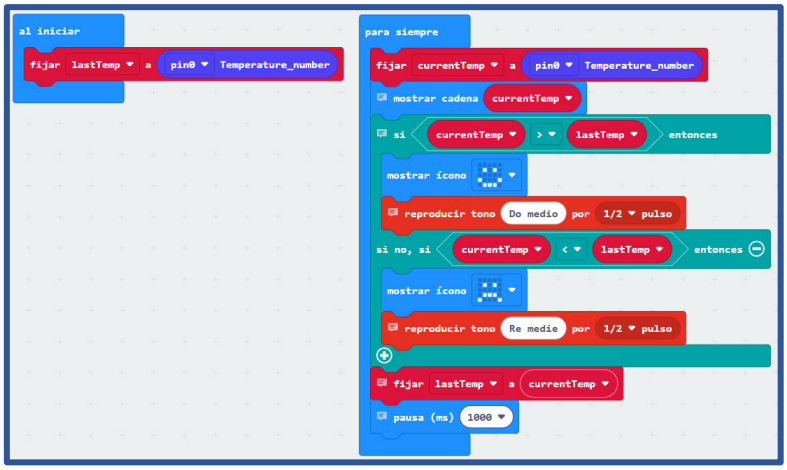


Figura 14. Ejemplo de programación en bloques a través de Microsoft MakeCode para trabajar con sensores de temperatura. Elaboración propia.

Entre los entornos más representativos de este enfoque se encuentran Scratch y Microsoft MakeCode:

- *Scratch* fue desarrollado por el grupo *Lifelong Kindergarten* del MIT *Media Lab* (Instituto de Tecnología de Massachusetts). Es un entorno de programación visual gratuito diseñado para fomentar la creatividad, la colaboración y el pensamiento

computacional entre jóvenes de todo el mundo (Resnick et al., 2009; Scratch Foundation, 2024)

- *Microsoft MakeCode* es una plataforma de programación en línea impulsada por *Microsoft*, que permite crear proyectos interactivos mediante bloques o código *JavaScript*. Ha sido utilizada especialmente en educación para trabajar con dispositivos físicos como *BBC Micro Bit*, integrando pensamiento computacional y robótica educativa, siendo esta plataforma la utilizada para la programación llevada a cabo por el alumnado dentro de la secuencia de actividades propuesta esta tesis doctoral.

Ambos entornos de programación ofrecen plataformas intuitivas y versátiles que permiten crear animaciones, juegos interactivos, simulaciones o controlar dispositivos físicos (como *BBC Micro Bit, Makey Makey* o *Arduino*), favoreciendo el aprendizaje significativo y la motivación del alumnado (Paucar-Curasma et al., 2023). Estas herramientas no sólo permiten explorar conceptos computacionales como bucles, condicionales o variables, sino que también promueven prácticas fundamentales como la depuración, el diseño iterativo o la reutilización de código, todo ello en un entorno creativo y colaborativo.

2.3.2.2 Hardware

Este subapartado describe los dispositivos físicos que han servido de soporte para el desarrollo de actividades de programación en el aula: placas controladoras y sensores.

2.3.2.2.1 Placas microcontroladoras educativas

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos que integran, en un solo chip, un procesador, memoria y entradas/salidas que permiten interactuar con el entorno mediante sensores o actuadores. Su incorporación en el ámbito educativo ha cobrado relevancia en los últimos años, ya que permiten al alumnado diseñar y programar sistemas que conectan el mundo físico con el digital, favoreciendo así el aprendizaje activo, la resolución de problemas y el desarrollo de habilidades propias del pensamiento computacional. Como señalan Reese y Jones (2010), el uso de microcontroladores en la enseñanza mejora la comprensión sobre el funcionamiento interno de los sistemas digitales y refuerza procesos cognitivos clave en la construcción del conocimiento tecnológico, además de un impacto positivo en sus prácticas y perspectivas con y hacia la tecnología (Paucar-Curasma et al., 2023).

Para su desarrollo en la educación formal, existen diferentes microcontroladores diseñados para introducir al alumnado en la programación y la construcción de sistemas interactivos. Entre los más utilizados en las aulas de Educación Secundaria se encuentran *BBC Micro Bit*, *Makey Makey* y *Arduino*, cada uno con características específicas que permiten su adaptación a distintos niveles y objetivos de enseñanza. A continuación, nos centrarmos en definir la *BBC Micro Bit* puesto que fue el microcontrolador que se usó para el desarrollo de actividades secuenciadas en esta tesis doctoral.

La *BBC Micro Bit* es un microcontrolador compacto (figura 15) desarrollado por la BBC en colaboración con diversas instituciones tecnológicas y educativas. Se trata de una pequeña computadora programable que facilita el aprendizaje de la programación y la electrónica en estudiantes y educadores. Está diseñado específicamente para su uso en entornos escolares y destaca por su facilidad de uso, interfaz intuitiva y múltiples sensores integrados (acelerómetro, brújula, temperatura, botones, pantalla de 25 LEDs, entre otros).

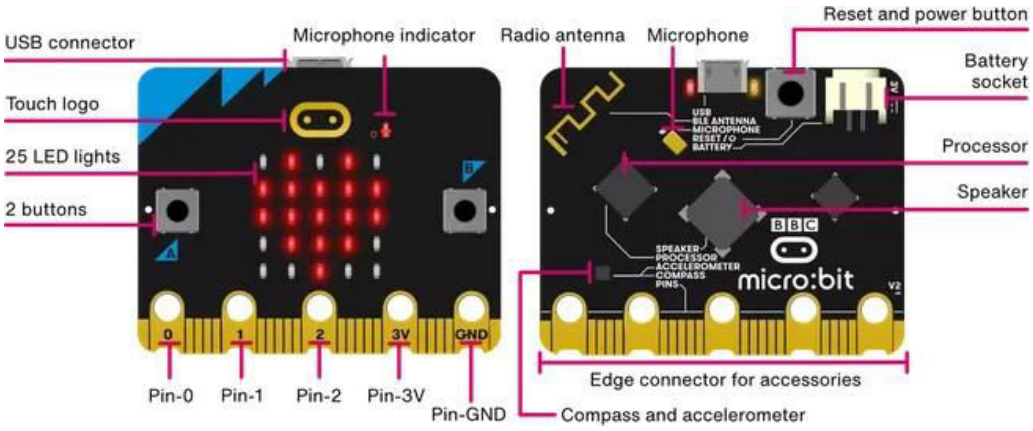


Figura 15. Esquema de una placa BBC Micro Bit. Imagen extraída de: micro:bit Community - Hackster.io

Además, es compatible con entornos de programación por bloques como *Microsoft MakeCode*, lo que permite una introducción gradual y visual a la lógica computacional sin necesidad de conocimientos previos sobre lenguajes de programación. Esta herramienta ha sido la principal plataforma utilizada en el desarrollo de esta tesis, ya que permite trabajar desde la creatividad y la exploración, conectando con el currículo de ciencias a través de experiencias prácticas, motivadoras y significativas.

2.3.2.2.2 Sensores y equipos de captación automática de datos

El equipamiento que permite realizar captación de datos en tiempo real en los proyectos de ciencias no es nada nuevo. Los experimentos asistidos por ordenador (MBL,

Microcomputer Based Laboratory, en inglés) formados por un ordenador, una interfaz y un software han sido tradicionalmente llevados a cabo en muchos laboratorios de ciencias (Tortosa Moreno y Oro, 2011).

Un sensor (figura 16) es un dispositivo que detecta, mide o registra cambios en una magnitud física, química o biológica del entorno (como temperatura, presión, pH, luz, sonido, concentración de gases, entre otros) y los convierte en señales comprensibles (habitualmente eléctricas o digitales) que pueden ser interpretadas por otros instrumentos, como ordenadores, microcontroladores (como las placas *BBC Micro Bit*) o sistemas de adquisición de datos.

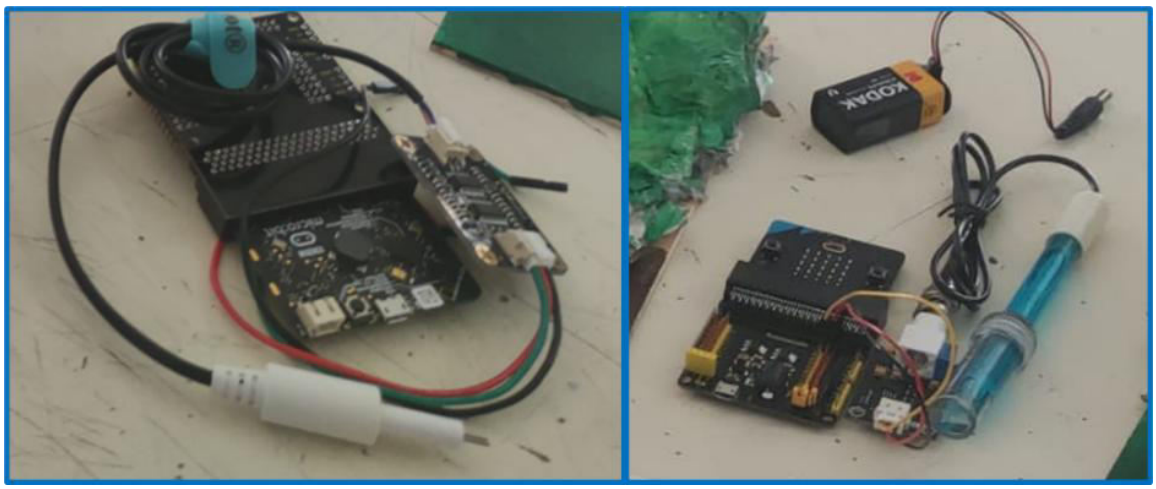


Figura 16. Fotografías de sensores conectados a la placa Micro Bit. A la izquierda, sensor que mide el total de sólidos disueltos TDS (Total Dissolved Solids), a la derecha, sensor sumergible de pH. Elaboración propia.

Según Tortosa-Moreno y Oro (2011) las ventajas del uso de los sensores en la educación científica son varias:

1. Medición en tiempo real y análisis inmediato: los sensores permiten obtener y visualizar datos al instante, lo cual reduce el tiempo de toma de datos y favorece la discusión, el análisis cualitativo y cuantitativo, y la elaboración de conclusiones con el alumnado.
2. Acceso a fenómenos difíciles de observar tradicionalmente: posibilitan experimentar con procesos muy rápidos (ej. caída libre) o muy lentos (ej. fotosíntesis, ruido ambiental), ampliando así las posibilidades del aula de secundaria.
3. Relación entre fenómeno y representación gráfica: facilitan que el alumnado visualice gráficamente lo que ocurre en tiempo real, estableciendo conexiones significativas entre el mundo físico y su representación abstracta (gráficos).

4. Motivación y aprendizaje activo: su uso aumenta la implicación y motivación del alumnado al favorecer la experimentación, la exploración de ideas propias y la detección de errores o anomalías.
5. Construcción progresiva del conocimiento: promueven el paso de lo concreto a lo abstracto, permitiendo comprender mejor conceptos físicos y químicos mediante experiencias vivenciales.
6. Potencian la comunicación y el trabajo colaborativo: favorecen la interacción entre estudiantes y con el profesor, lo que facilita la comprensión compartida de los conceptos científicos.
7. Alineación con la práctica científica real: imitan procesos propios del trabajo científico profesional (predicción, observación, análisis), ayudando a entender cómo se construye el conocimiento científico.
8. Mejora comprobada del aprendizaje: estudios empíricos demuestran mejoras significativas en la comprensión de conceptos como fuerza, aceleración, distancia, velocidad, pH, etc.

Las actividades que implican el uso de sensores, recogida de datos y creación de modelos permiten al alumnado desarrollar simultáneamente comprensión científica y pensamiento computacional (NRC, 2011). Por lo tanto, las experiencias educativas con sensores proporcionan beneficios para las aulas modernas y enriquece la enseñanza con mejoras respecto a: la producción global de datos (Bondaryk et al., 2021), la estimulación del interés del alumnado mejorando las calificaciones y las habilidades tecnológicas (He et al., 2024), y desarrollo del pensamiento crítico (Lechelt et al., 2020).

2.3.3 Instrumentos de evaluación del pensamiento computacional

Existe una necesidad de investigar cómo evaluar el pensamiento computacional, ya que el abanico de habilidades que lo compone, según cada autor o autora, hace difícil desarrollar un instrumento unificado (Muñoz et al., 2023b). Existen varias propuestas para ello, algunas de las más conocidas son: la escala para medir habilidades del pensamiento computacional propuesta por Yağcı (2019), el Test-CT (*Computational Thinking Test*) desarrollado por (Roman-González, 2016), o los métodos de validación de pensamiento computacional para individuos adultos elaborada por Cordenonzi y Del Pino (2021).

Una de las propuestas más interesantes es la rúbrica propuesta por Ortega-Ruipérez (2020) (tabla 8), de fácil implementación y desarrollada a partir de diferentes niveles de adquisición:

Tabla 8. Niveles de adquisición de los procesos del pensamiento computacional (Ortega-Ruipérez, 2020).

Habilidad	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Descomposición	Detecta dos grandes ideas en un mismo problema o tarea	Detecta las distintas partes e identifica un dato de cada idea	Detecta las distintas partes e identifica casi todos los datos	Detecta las partes de una tarea y los datos relativos a cada una
Abstracción	Extrae las ideas a través de un proceso guiado que ayuda a desechar detalles	Es capaz de extraer varias ideas por sí mismo, desechando datos superficiales	Extrae casi todas las ideas, eliminando los detalles menos importantes	Extrae todas las ideas esenciales desprendiendo todos los detalles
Generalización	Representa ideas si ve claramente las conexiones entre los datos de cada una	Representa la idea general de la tarea o problema con fallos no determinantes	Crea representación del problema o tarea conectando la mayoría de las ideas	La representación creada conecta de forma óptima todas las ideas extraídas
Evaluación	Es capaz de analizar datos sin relacionar unos con otros	El análisis de datos permite relacionar unos con otros	Analiza la mayoría de las relaciones entre los datos relevantes	Analiza todas las relaciones entre los datos más relevantes
Pensamiento Algorítmico	Crea un algoritmo general e identifica cada subalgoritmo al alcanzar esa fase	Crea un algoritmo general y divide el trabajo en varias fases u objetivos	Puede crear los subalgoritmos de cada parte y evaluar si encajan entre sí	Crea un algoritmo general que guía los subalgoritmos de cada parte/subtarea

2.3.4 Consideraciones y buenas prácticas para promover el pensamiento computacional en las aulas

Un informe publicado por la Casa Blanca en diciembre de 2018, *Charting a Course for Success: America's Strategy for STEM Education*, señala que uno de los pilares fundamentales para avanzar en la educación STEM es el desarrollo de la alfabetización computacional. Dentro de esta línea de acción, se establece como objetivo clave integrar el pensamiento computacional de forma transversal en todo el sistema educativo (Committee on STEM Education, 2018). Al desarrollar soluciones computacionales y aplicar métodos propios de la computación, el alumnado no solo profundiza en los contenidos STEM, sino que también adquiere habilidades en pensamiento computacional y comprende su aplicación en contextos reales. Esta integración, además, permite responder a los nuevos estándares educativos sin recargar el currículo, preparando desde edades tempranas competencias clave para su futuro académico y profesional en el ámbito STEM (Lee et al., 2020).

Diversos estudios en el ámbito educativo demuestran que el pensamiento computacional puede integrarse en el aprendizaje de distintas disciplinas si el profesorado y los materiales curriculares modelan estas estrategias y se proporciona la orientación adecuada (Bocconi et al., 2016; Costa et al., 2017; NRC, 2011; Quiroz-Vallejo et al., 2021). Dicha orientación se apoya frecuentemente en entornos computacionales y herramientas como lenguajes de programación o de modelado, que permiten al alumnado aplicar estas estrategias de forma autónoma (Papaevripidou et al., 2014). Asimismo, la integración del pensamiento computacional en las aulas de ciencias a través de una enseñanza basada en modelos y en herramientas tecnológicas efectivas puede mejorar la enseñanza y el aprendizaje de conceptos científicos (Ashwin et al., 2024; Gilbert y Justi, 2018; Ogegbo y Ramnarain, 2022; Rubinstein y Chor, 2014; Trejos-Buriticá, 2019).

Más allá del uso instrumental de tecnologías, se ha señalado que el pensamiento computacional favorece un cambio en la percepción del alumnado sobre la informática: deja de concebirse como una simple herramienta para convertirse en un marco de referencia para el modelado y la resolución de problemas complejos (Rubinstein y Chor, 2014). Sin embargo, a pesar de tratarse de una forma de pensamiento transversal y beneficiosa para cualquier ciudadano, independientemente de su profesión (NRC, 2011), el pensamiento computacional rara vez se enseña como un proceso general de razonamiento científico (Rubinstein y Chor, 2014). En este sentido, el NRC distingue entre tres enfoques para llevar la computación a las aulas, el primero es a través de la alfabetización informática (uso de herramientas para crear documentos, webs, presentaciones o presupuestos), el segundo es a través de la programación informática (enseñanza de lenguajes de programación como *Javascript* o C++), y el tercero está centrado en la programación de juegos, robots y simulaciones. En cualquier caso, estos tres enfoques, aunque útiles, no deben confundirse con aprender a pensar computacionalmente (NRC, 2011).

En contextos científicos, el pensamiento computacional se puede desarrollar mediante la resolución de problemas empleando estrategias que permitan el desarrollo de competencias digitales (Basogain-Olabe et al., 2015). Estos pueden llevarse a cabo mediante ciclos iterativos de predicción, experimentación, observación y ajuste de modelos, un enfoque especialmente relevante en disciplinas como la biología moderna, donde la enorme cantidad y complejidad de datos a múltiples escalas (como los genómicos o ambientales) exige el uso del pensamiento computacional para su análisis y representación eficaz (NRC, 2011). Entre las estrategias más habituales para fomentar

pensamiento computacional destacan la robótica, la programación en lenguajes en bloques, los juegos digitales (Quiroz-Vallejo et al., 2021), o a través de la creación de proyectos de cualquier tipo, como proyectos STEM e historias animadas (Ortega-Ruipérez, 2020). En este sentido, posicionar al alumnado como creadores de modelos o herramientas potencia sus capacidades cognitivas, favoreciendo su participación como generadores de conocimiento, en lugar de limitar su papel a ser simples usuarios o consumidores de tecnologías (Fussero et al., 2021).

Este enfoque constituye un argumento sólido para que el profesorado comprenda que el pensamiento computacional puede desarrollarse mediante proyectos que trasciendan el uso pasivo de herramientas e información, y que promuevan, en cambio, la creación activa de estas (Philips, 2009). Como señalan Zapata-Ros y Pérez-Paredes (2019, cap. 2), “lo importante no es el software que escriben, sino lo que piensan cuando lo escriben. Y sobre todo la forma en que lo piensan”.

Además de la modelización, autores como Zapata-Ros y Pérez-Paredes (2019) recalcan que la naturaleza propia del pensamiento computacional, con su enfoque cercano a la ingeniería, la hace especialmente compatible con metodologías como la indagación, el aprendizaje basado en proyectos, en problemas o en casos. Asimismo, Tortosa Moreno y Oro (2011) recomiendan que, en el uso de la programación de sensores, se acompañe al alumnado de forma continua durante el proceso de indagación, especialmente en la interpretación de resultados. Subrayan también la importancia de plantear problemas contextualizados, conectados con la vida cotidiana del alumnado, y de comunicar y apropiarse de los objetivos de la experiencia mediante estrategias activas y participativas. Esta visión es compartida por Monjelat (2019), quien insiste en que el pensamiento computacional debe desarrollarse a través de trayectos formativos situados, centrados en problemáticas significativas y contextualizadas que permitan generar aprendizajes con sentido. En este marco, Ortega-Ruipérez (2020) refuerza la necesidad de acompañar al alumnado a lo largo de todo el proceso, proporcionando apoyo tanto en la planificación como en el desarrollo y análisis de soluciones, lo que resulta clave para el desarrollo del pensamiento computacional desde una perspectiva didáctica integral.

Por otro lado, la integración de herramientas específicas como *BBC Micro Bit* ha demostrado ser eficaz para promover el pensamiento computacional en el alumnado de secundaria, contribuyendo a desarrollar estas competencias de manera transversal y sostenible a lo largo de la vida (Liu et al., 2022). Además, es fundamental que el uso de

sensores no se limite a una función instrumental. Lechelt et al. (2020) subrayan la necesidad de fomentar el pensamiento crítico en el alumnado a través de estos dispositivos, promoviendo la reflexión sobre qué se mide, cómo se mide y en qué medida los datos obtenidos son fiables y relevantes.

Finalmente, se destaca la importancia de implementar actividades de programación desde de infantil a secundaria, tanto por su valor didáctico como por su potencial motivador, especialmente en el caso de las chicas, quienes han demostrado tener el mismo nivel competencial que los chicos, a pesar de su menor representación en este ámbito (Papavlasopoulou et al., 2020).

2.4 La Competencia Digital y los estándares ISTE

La Unión Europea reconoce la Competencia Digital como una competencia clave, en la que se incorpora el aprendizaje de la programación y se vincula con el pensamiento computacional entendido como una habilidad esencial para la expresión en entornos digitales (Brande et al., 2016). La legislación educativa española define la competencia digital como el uso creativo, crítico y seguro de las tecnologías de la información y la comunicación para alcanzar objetivos relacionados con el trabajo, la empleabilidad, el aprendizaje, el tiempo de ocio, la inclusión y la participación en la sociedad (Ley Orgánica de Educación 3/2020).

Del mismo modo, La UNESCO ha incorporado el pensamiento computacional dentro del marco de la Alfabetización Informacional y Mediática, con el propósito de fomentar una participación activa, crítica y reflexiva de las personas en la cultura y el entorno digital (Gretter y Yadav, 2016; Ortega-Ruipérez, 2020), ya que fomentar la alfabetización digital en la educación formal puede mejorar la motivación y la competencia de los estudiantes de secundaria en el aprendizaje de las ciencias (Nacaroğlu et al., 2025). En esta misma línea, la OECD (2019) señala que la alfabetización digital y de datos se consideran fundamentos clave para que el estudiantado sea capaz de navegar, recopilar, gestionar y filtrar información y datos para evaluarlos críticamente, gestionarlos, interpretarlos, calcularlos y comunicarlos, sabiendo crear y usar nuevas herramientas en contextos cada vez más digitales.

Debido a esto, el Plan Nacional de Competencias Digitales (PNCD, 2025) del gobierno de España, publicó las áreas competenciales y niveles de aptitud (tabla 9) ya publicadas por la Comisión Europea en la DigComp 2.1. (Carretero et al., 2017) “en un

importante esfuerzo para establecer un marco de referencia de competencias digitales" (PNCD, 2025, pág. 10):

Tabla 9. Áreas competenciales, competencias y niveles de aptitud del DigComp 2.1. (PNCD, 2025).

Área competencial	Competencia	Nivel de aptitud
1. Información y alfabetización de datos	1. Navegar, buscar y filtrar información	1 (BÁSICO)
	2. Evaluar la información	1 (BÁSICO)
	3. Almacenar y recuperar la información	2 (BÁSICO)
2. Comunicación y colaboración	4. Interactuar a través de las tecnologías	2 (BÁSICO)
	5. Intercambiar información y contenidos	2 (BÁSICO)
	6. Participar en la ciudadanía digital	3 (INTERMEDIO)
	7. Colaborar a través de canales digitales	3 (INTERMEDIO)
	8. Etiqueta electrónica	3 (INTERMEDIO)
	9. Gestionar la identidad digital	4 (INTERMEDIO)
3. Creación de contenidos digitales	10. Desarrollar contenidos	4 (INTERMEDIO)
	11. Integrar y reelaborar contenidos	5 (AVANZADO)
	12. Copyright y licencias	5 (AVANZADO)
	13. Programar	5 (AVANZADO)
4. Seguridad	14. Proteger dispositivos	6 (AVANZADO)
	15. Proteger datos personales	6 (AVANZADO)
	16. Proteger salud	6 (AVANZADO)
	17. Proteger el medio ambiente	7 (ALTAMENTE ESPECIALIZADO)
5. Resolución de problemas	18. Resolver problemas técnicos	7 (ALTAMENTE ESPECIALIZADO)
	19. Identificar necesidades tecnológicas	8 (ALTAMENTE ESPECIALIZADO)
	20. Usar la tecnología de forma creativa	8 (ALTAMENTE ESPECIALIZADO)
	21. Identificar carencias de competencias digitales	8 (ALTAMENTE ESPECIALIZADO)

Por otro lado, en 2018, la ISTE (*International Society for Technology in Education* – Sociedad Internacional para la Tecnología en Educación) estableció siete estándares fundamentales que los estudiantes deben cumplir para convertirse en aprendices autónomos en la era digital (tabla 10). Los estándares ISTE han demostrado generar impactos positivos en el aprendizaje del alumnado, proporcionando evidencia empírica sobre la eficacia de integrar la tecnología en la enseñanza (Crompton, 2023). En consonancia con ello, Trust (2017) subraya la necesidad de incorporar dichos estándares en la educación formal, y defiende que su aplicación a través de "proyectos de aprendizaje auténticos" puede preparar al estudiantado para afrontar los desafíos de un mundo digital en permanente cambio.

Tabla 10 . Estándares ISTE para estudiantes (ISTE, 2018)

Estándar	Descripción
1. Alumno/a empoderado/a	El alumnado asume un papel activo en su proceso de aprendizaje, estableciendo metas personales, utilizando la tecnología para alcanzarlas, buscando retroalimentación y demostrando competencia.
2. Ciudadano/a digital	El alumnado reconoce sus derechos y responsabilidades en el mundo digital, comportándose de forma segura, legal y ética en todos los entornos tecnológicos.
3. Constructor/a del conocimiento	El alumnado utiliza herramientas digitales para recopilar, evaluar y crear información, desarrollando experiencias de aprendizaje significativas y produciendo artefactos creativos.
4. Diseñador/a innovador/a	El alumnado aplica procesos de diseño para identificar y resolver problemas, creando soluciones nuevas, útiles o imaginativas mediante diversas tecnologías.
5. Pensador/a computacional	El alumnado desarrolla y emplea estrategias eficaces para la resolución de problemas mediante métodos tecnológicos como el análisis de datos, la abstracción y el pensamiento algorítmico.
6. Comunicador/a creativo/a	El alumnado se comunica de manera clara y creativa utilizando plataformas, herramientas y medios digitales apropiados para distintos fines y audiencias.
7. Colaborador/a global	Utiliza herramientas digitales para colaborar con otros de manera eficaz, trabajando en equipos multiculturales y contribuyendo de forma responsable a resolver problemas locales y globales.

2.5 El enfoque STE(A)M: qué y para qué

El mundo que nos rodea está condicionado actualmente por la robótica, la interconectividad, la automatización y la inteligencia artificial. Si esto supone un reto a la sociedad, debido a la necesidad de adaptarse a los cambios cada vez más vertiginosos que transforman constantemente la realidad, los estilos de vida y los desempeños laborales, aún mayor es la brecha (y más compleja la tarea) a la que se enfrenta la educación formal para asumir y responder a estos cambios.

Con la llegada continua de nuevas tecnologías, los currículos, las iniciativas nacionales e internacionales, padres y educadores se han enfocado en la necesidad de que se desarrolle la tecnología y la ingeniería en los programas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) desde educación infantil (Bers et al., 2013). Atendiendo al actual currículo en España, incluye la competencia STEM, haciendo una definición de ella como “la comprensión del mundo utilizando los métodos científicos, el pensamiento y representación matemáticos, la tecnología y los métodos de la ingeniería para transformar el entorno de forma comprometida, responsable y sostenible” (Real Decreto 217/2022, pág. 41598). Además, con esta competencia se promueve el uso de pensamiento científico y técnico, que fomenta la resolución de problemas, el razonamiento lógico y la

comprensión de fenómenos naturales y tecnológicos, para su implicación del conocimiento en la vida cotidiana (Real Decreto 217/2022a).

Así, la educación STEM hace referencia a una cierta forma de trabajar en el ámbito científico-tecnológico en la educación, caracterizada por ayudar al alumnado a desarrollar las ideas clave y las prácticas (formas de hacer, saber, hablar, valorar, ser) del ámbito científico y tecnológico, para resolver problemas socialmente relevantes, además de diseñar y proponer soluciones creativas de forma crítica y con valores (Couso y Grimalt-Álvaro, 2017; Koole y Squires, 2021). Este tipo de educación tiene como objetivo aumentar la eficacia, confianza e interés por el alumnado por la ciencia, la tecnología, la ingeniería, las artes y las matemáticas, para fomentar el talento creativo y convergente (Kim y Chae, 2016), además de para preparar a los futuros trabajadores y ciudadanos para una sociedad moderna e impulsada por la tecnología (Tang y Williams, 2019), en especial las que van en asociación con la IA (Inteligencia Artificial) (Wu et al., 2022).

2.5.1 Origen y conceptualizaciones STE(A)M

Sustentada en teorías de aprendizaje constructivista (Gross y Gross, 2016), el origen de STEM se sitúa en la década de los años 80, considerándose a priori como una estrategia para reforzar la educación en ciencias y matemáticas (Breiner et al., 2012), En la década de los 90, la *National Science Foundation* (NSF), en un intento de modernizar el sistema educativo hacia una sociedad más industrial y tecnológica y más alejada de actividades agrícolas, comenzó a utilizar el término “SMET” y terminó a denominarse STEM (Mateos-Núñez, 2021). No fue hasta el año 2010 cuando el término adquirió gran importancia en las políticas gubernamentales afectado por los cambios tecnológicos y la necesidad de formación en este ámbito (Mateos-Núñez, 2021). Con el tiempo, evolucionó hasta convertirse en un enfoque de aprendizaje interdisciplinar que integra conocimientos académicos sólidos con situaciones del mundo real, estableciendo conexiones entre ellos (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024).

Queriendo cambiar la dinámica y huir de una finalidad única ligada a la vocaciones en un contexto de economía globalizada, y de sus inicios como mero término o instrumento de márquetin político en materia de educación (Olalla-García et al., 2024; Toma y García-Carmona, 2021), el Consejo Internacional de Asociaciones para la Educación Científica (ICASE) ya acordó la necesidad en el año 2013 de una planificación e implementación eficaz de la educación STEM que se focalice en el desarrollo de competencias clave para la vida, como la indagación crítica, la resolución de problemas, la toma de decisiones y el

trabajo en equipo (Chisman, 2013). La pertinencia de llevar a cabo prácticas STEM se sustenta en la necesidad de formar a un alumnado autónomo, seguro y preparado para afrontar sociedades complejas (Chisman, 2013) ya que, además de alfabetización científico-tecnológica, promueve la integración de forma transversal de temas como la salud, la seguridad y la sostenibilidad ambiental, reafirmándose como un pilar del desarrollo sostenible y estableciendo la responsabilidad y justicia social como un objetivo educativo esencial (Chisman, 2013; Domènech, 2018; Kennedy y Odell, 2014). Es por ello que, muchos autores ponen de manifiesto desarrollo de prácticas STEM para el fomento de habilidades del siglo XXI: pensamiento crítico, creatividad, colaboración, de comunicación y alfabetización digital (Kennedy y Odell, 2014; Martín-Cudero et al., 2024; Ridwan et al., 2020; Sanders, 2009; Zamorano et al., 2018).

La necesidad de potenciar la creatividad en el alumnado dio lugar a la incorporación de la "A" de Arts en el acrónimo, conformando así el enfoque STEAM (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024). Este reconocimiento surge como respuesta a la creciente demanda de formar recursos humanos creativos que impulsen el progreso científico-tecnológico, con evidencias que apuntan además a un aumento de la motivación y sus valores afectivos, y a una mejora en los resultados de aprendizaje (Amanova et al., 2025; Olalla-García et al., 2024; Zamorano et al., 2018). Esta conceptualización ha propiciado también que las Artes se entiendan como una vía de conexión con las Ciencias Sociales dentro del enfoque STEAM. En este sentido, diversos estudios destacan su impacto positivo en el aprendizaje del alumnado, donde disciplinas como la Historia, la Geografía, la Literatura o las Lenguas Extranjeras contribuyen al desarrollo de competencias clave como el pensamiento crítico, la creatividad, la indagación, el compromiso ético-social y la resolución de problemas (Henita et al., 2023; Ratnawati y Sriyanto, 2022).

Esta perspectiva conecta con la Visión III de la alfabetización científica, que concibe la enseñanza de las ciencias como una herramienta para el análisis crítico de la realidad y la transformación social (Sjöström et al., 2017; Sjöström y Eilks, 2018). En este marco, la integración de las artes no solo potencia la creatividad, sino que favorece una comprensión situada, ética y reflexiva del conocimiento científico. Como señalan Ibrahim et al. (2022), el arte en la educación STEAM no debe reducirse a funciones estéticas o instrumentales, sino que debe actuar como una vía para explorar críticamente los efectos sociales y ambientales del desarrollo científico-tecnológico. Esta integración permite visibilizar los daños invisibles relacionados con la ciencia (como el extractivismo, el colonialismo o las injusticias ecológicas), y favorece un abordaje de los problemas

sociocientíficos que incorpora no solo el análisis racional, sino también la dimensión emocional, ética y política.

Por su parte, Krug y Shaw (2016) proponen una reconceptualización aún más amplia incorporando elementos como la sostenibilidad ecológica, la teoría del aprendizaje experiencial, la indagación crítica y la comprensión intersubjetiva. Argumentan que las iniciativas STEAM deben ir más allá de los enfoques disciplinarios, multidisciplinarios e interdisciplinarios, promoviendo una mayor integración no solo entre las materias STEM, sino también con las artes y las humanidades. Y es que, según Taylor (2016), STEAM amplía el alcance STEM, no compite con él. De igual forma, este enfoque permite que los docentes de ciencias desarrollen currículos escolares adaptados, con una visión educativa centrada en lo humano y el rol transformador del docente.

Y es que las conceptualizaciones acerca de STEM son varias dependiendo del tratamiento interdisciplinario e integrador que se les dé; desde uno aislado de cada disciplina (S–T–E–M), pasando por enfoques centrados en una o dos áreas (SteM), hasta propuestas con integración parcial o completa entre las disciplinas. Esta evolución ha dado lugar a nuevas variantes como, iSTEM (con imaginación), STREAM (que añade robótica) o ST®E(A)M(S) (con una integración aún más amplia de materias), que buscan enriquecer el enfoque y adaptarlo a los desafíos educativos actuales (Bybee, 2013; Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024; Toma y García-Carmona, 2021), como actividades STEAM+IA (Inteligencia Artificial) (Wu et al., 2022).

Sin embargo, estas reconceptualizaciones o el propio enfoque STEM originario, no están exentos de controversia. Algunos autores consideran que muchas de las propuestas etiquetadas como STEM no suponen una verdadera innovación pedagógica, sino que reproducen enfoques ya existentes (como el aprendizaje basado en proyectos o el modelo Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS)) sin integrar de manera real las disciplinas implicadas, o limitándose a una o dos áreas del acrónimo, haciendo necesario requerir de una teorización pedagógica rigurosa y estudios que demuestren su eficacia y viabilidad real (Toma y García-Carmona, 2021), lo que desvirtúa el sentido interdisciplinar del enfoque. En respuesta al enfoque de enseñanza segmentado, algunos educadores sostienen que es necesario adoptar un enfoque interdisciplinario que refleje mejor las complejidades socioeconómicas y ambientales actuales (Koole y Squires, 2021). Autores como Gómez-Díaz et al. (2018), sostienen que el término STEM puede entenderse como sinónimo de ciencia en su conjunto, ya que las disciplinas que lo integran están tan interconectadas a

lo largo de la historia del conocimiento que resulta innecesario e incluso contraproducente intentar separarlas.

Así, esta tesis se alinea con la conceptualización de la educación STEAM como un enfoque educativo que integra conocimientos, habilidades y/o actitudes de las disciplinas que componen el acrónimo en una experiencia educativa, que 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). Del mismo modo, se adopta en esta tesis el término STEAM en adelante, sirviendo de referencia para todas las menciones posteriores a lo largo del documento, y entendiéndolo como un enfoque interdisciplinar que integra no sólo a las disciplinas científico-tecnológicas, sino también la artística con su dimensión creativa y el papel de las ciencias sociales.

2.5.2 Caracterización del enfoque STEAM: disciplinas, competencias y principios estructurales

A partir de los trabajos de Mateos-Núñez (2021), quien recoge y organiza los principales elementos disciplinares que configuran una propuesta educativa STEAM rigurosa, se ha elaborado una tabla (tabla 11) que sintetiza los aspectos clave asociados a cada una de las disciplinas que conforman este enfoque y permite visualizar de forma estructurada las competencias, habilidades y dimensiones específicas que aporta cada área en un enfoque STEAM auténtico y con sentido educativo. Para completar dicha caracterización y ampliar la mirada más allá del enfoque STEM propuesto por la autora, se han incorporado las aportaciones de Ozkan y Umdu-Topsakal, (2021) en lo que respecta al componente *"Arts"*, subrayando el valor del pensamiento visual, la creatividad, la expresión emocional y la comunicación estética en los procesos de resolución de problemas y de representación del conocimiento científico.

Tabla 11. Características clave de cada componente STEAM. Modificado de (Mateos-Núñez, 2021).

Área	Características clave
Science (Ciencia)	- Curiosidad frente a fenómenos y problemas. - Interés por el medioambiente y su conservación. - Espíritu crítico y flexibilidad intelectual. - Rigor metódico. - Habilidad para enfrentarse al cambio. - Valoración del trabajo en equipo investigador. - Respeto y argumentación en contextos democráticos.
Technology (Tecnología)	- Interpretación de planos, croquis y bocetos. - Uso de escalas y estudio geométrico de proporciones. - Diseño, planificación y construcción de maquetas. - Manipulación de materiales y herramientas. - Transformación de materias primas en productos finales. - Concreción de soluciones óptimas a problemas.
Engineering (Ingeniería)	- Trabajo en equipo y resolución eficiente de conflictos. - Gestión del riesgo, cambio y crisis. - Comunicación clara para la toma de decisiones. - Inteligencia emocional y liderazgo. - Capacidad de innovación ante desafíos técnicos.
Arts (Artes)	- Fomento de la creatividad e imaginación. - Uso del pensamiento visual y de lenguajes expresivos. - Diseño funcional y estético de soluciones. - Representación artística de fenómenos científicos. - Conexión emocional y narrativa con el aprendizaje. - Valoración del proceso creativo.
Mathematics (Matemáticas)	- Resolución de problemas de la vida diaria. - Selección de estrategias de cálculo (mental, escrita, digital). - Obtención de elementos desconocidos a partir de conocidos. - Estudio de formas y relaciones geométricas. - Estimación y valoración de resultados.

La pertinencia de la educación STEAM en la educación secundaria viene respaldada por numerosas investigaciones que evidencian que las actividades interdisciplinarias a través de este enfoque son especialmente efectivas para aumentar los niveles de habilidades científico-tecnológicas, además de fomentar actitudes positivas hacia las ciencias y a las ingenierías (Barrett et al., 2014). Como ya se comentó anteriormente, la educación STEAM se materializaría en los currículos de la mayoría de los países. En el caso de España, como un conjunto de competencias que debería adquirir el alumnado de educación primaria y secundaria (*Decreto 102/2023)*. Poniendo el foco en las pertinentes asociadas al completar la enseñanza básica, se exponen en la figura 17 las competencias STEAM en el currículo español.



*Figura 17. Competencias STEAM al completar la enseñanza básica (*Decreto 102/2023, de 9 de mayo, por el que se establece la ordenación y el currículo de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía*). Elaboración propia.*

Además, Mateos-Núñez (2021) recopiló, a partir de los trabajos de Zamorano et al. (2018), los requisitos generales que debe cumplir una propuesta didáctica para ser considerada como una experiencia STEAM auténtica, y que se ha desarrollado y reelaborado (tabla 12) para el marco teórico de esta tesis doctoral. Estas características no solo resumirían los principios estructurales del enfoque, sino que también establecerían los criterios de referencia para el diseño, desarrollo y evaluación de actividades interdisciplinarias. A través de ellas se garantiza que las propuestas no se limiten a una suma de partes o de contenidos, sino que integren saberes y competencias de forma coherente, conectadas con problemas reales y orientadas al desarrollo de la creatividad, la colaboración y el pensamiento crítico.

Tabla 12. Requisitos generales de una propuesta STEM auténtica (adaptado de Mateos-Núñez, 2021; Zamorano et al., 2018)

Categoría	Requisitos Generales
Contexto real y cercano	La propuesta se articula en torno a un problema significativo, vinculado al entorno del alumnado o a situaciones del mundo actual.
Resolución de problemas	Se orienta a crear soluciones prácticas u objetos funcionales que den respuesta al problema planteado.
Desarrollo competencial	Se prioriza el aprendizaje de habilidades relevantes para la vida y el futuro profesional, más allá del contenido teórico.
Interdisciplinariedad	Las disciplinas STEAM se integran de manera coherente, en relación con el problema o reto central.
Protagonismo del alumnado	El alumnado es agente activo en su aprendizaje; el docente asume un rol de guía o mediador.
Colaboración continua	Se fomenta el trabajo en equipo como eje metodológico, desarrollando habilidades sociales y comunicativas.
Motivación y vocaciones STEM	Se busca que el proyecto despierte el interés, la confianza y la orientación vocacional hacia las disciplinas científicas y tecnológicas.
Estructura tripartita	Las actividades suelen organizarse en tres fases: contextualización del problema, diseño creativo y dimensión emocional del aprendizaje.
Indagación por diseño	El aprendizaje se basa en la exploración activa mediante el diseño de soluciones, con un enfoque investigador.
Tecnología y creatividad	Se incorporan herramientas tecnológicas y expresivas como medios para explorar, crear y comunicar.
Prototipo final evaluable	La experiencia culmina con la presentación de un producto o solución diseñada por el alumnado.
Evaluación integral	Se evalúan tanto el proceso como el producto final, valorando especialmente las estrategias, decisiones y aprendizajes desarrollados a lo largo del trabajo.

2.5.3 Modelos de concreción didáctica del enfoque STEAM: planificación y líneas de acción

Aunque STEAM es un enfoque pedagógico interdisciplinar, su implementación no es automática ni evidente. Varias investigaciones refuerzan la idea de que la implementación efectiva del enfoque STEAM requiere más que una declaración de intenciones, pues no basta con poner de manifiesto que se va a trabajar de forma STEAM. Este argumento es defendido por autores como Toma y García-Carmona (2021), quienes remarcan que para poder llevar a cabo una educación STEM genuina, es necesario primero establecer con claridad los fundamentos teóricos y pedagógicos que la hagan viable y coherente en la práctica educativa. Del mismo modo, esta requiere de una planificación, formación STEAM y adaptación al contexto educativo por parte del docente, pudiendo a llegar a suponer todo un desafío para el profesorado (Boice et al., 2021, 2024).

En esta línea, Martín-Cudero et al. (2024) concretan en sus trabajos cómo debe planificarse y estructurarse una propuesta STEAM para que sea efectiva. Este modelo

(figura 18) recoge una secuencia clara en cuatro fases, que parte de un diagnóstico inicial y culmina con la evaluación, articulándose desde la interdisciplinariedad y el uso de metodologías activas. Esta lógica de planificación se ve respaldada por los beneficios que se han documentado y comentado anteriormente en esta tesis en relación con la implementación de actividades STEAM, como el desarrollo del pensamiento crítico, la capacidad para resolver de forma creativa problemas reales y el trabajo colaborativo (Lee et al., 2021).

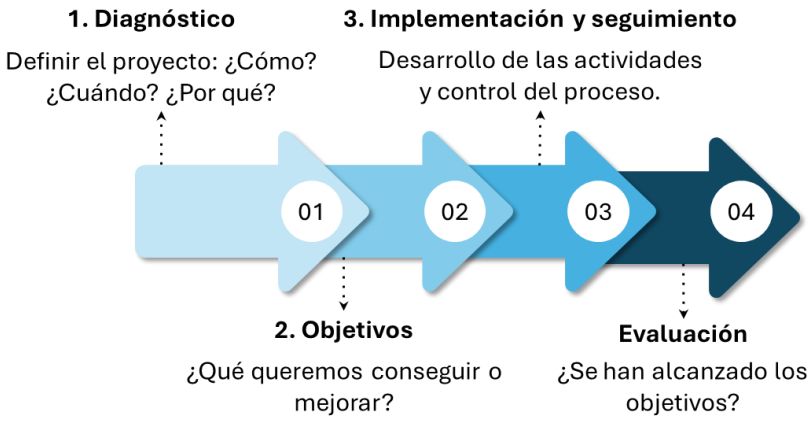


Figura 18. Cómo planificar un enfoque STEAM (Martín-Cudero et al., 2024).

Además, Martín-Cudero et al. (2024) presentan cuatro líneas de acción clave (figura 19) que sirven como ejes estructurales para cualquier propuesta STEAM: la interdisciplinariedad, el aprendizaje activo, el enfoque competencial y el uso integrado de recursos tecnológicos, recalcando, además, de que no se trata de fases ni de una secuencia fija, sino de dimensiones interrelacionadas que deben estar presentes de forma transversal.

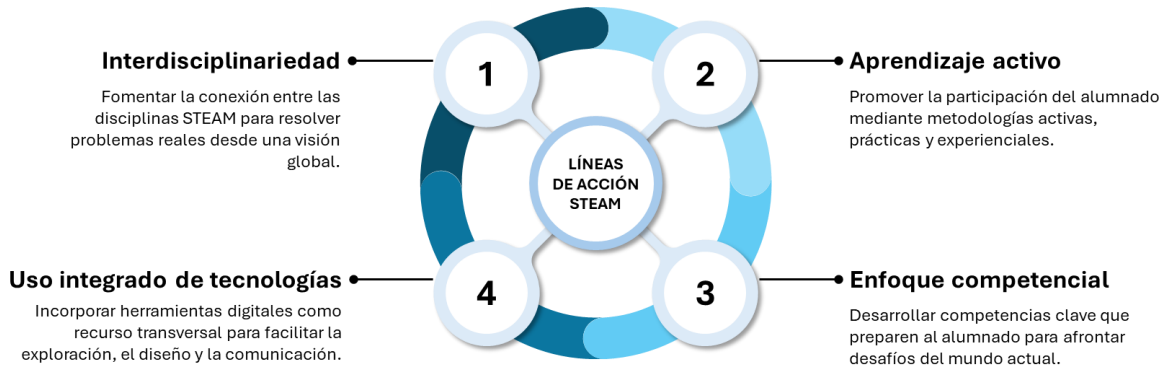


Figura 19. Líneas de acción para la educación STEAM para promover las vocaciones científico-tecnológicas y artísticas con fundamento matemático (Martín-Cudero et al., 2024). Elaboración propia.

2.5.4 Consideraciones y buenas prácticas para la educación STEAM

La etapa de educación secundaria es crucial para el desarrollo de valores e intereses en la educación STEAM (Kim y Chae, 2016). En concordancia con la segunda línea de acción anteriormente presentada por Martín-Cudero et al. (2024), y para las asignaturas de ciencias de la escuela secundaria, la modelización y la indagación científica basada en tecnología se han convertido en los medios dominantes para llevar a cabo este tipo de educación (Wang et al., 2015). Autores como English (2017) destacan el modelado basado en STEM como una actividad de aprendizaje cíclica y generativa, en la que los procesos de modelización e ingeniería comparten características comunes y facilitan la resolución de problemas auténticos mediante contenidos, procesos y contextos STEM. Con estos métodos de enseñanza se busca que el alumnado construya conocimiento científico de forma activa (explorando, cooperando, investigando o diseñando) en lugar de limitarse a memorizar contenidos (García-Cartagena et al., 2017).

La integración de actividades prácticas con tecnologías como Arduino y herramientas de programación digitales en entornos educativos STEAM favorecen significativamente el desarrollo del pensamiento computacional en múltiples dimensiones (Couso y Grimalt-Álvaro, 2017; Juškevičienė, Stupurienė, et al., 2021), del mismo modo que el pensamiento computacional mejora la educación STEAM (Dolgopolovas y Dagienė, 2021; Weintrop et al., 2014). Estas prácticas no solo mejoran la alfabetización digital, sino que también promueven la resolución de problemas, asumen roles y liderazgo, fomentan la colaboración y la creatividad desde edades tempranas, mientras el rol del docente se establece como guía y facilitador (Herro et al., 2022; Sánchez-Ludeña, 2019).

A partir del análisis de múltiples estudios en la educación STEM llevadas a cabo por Thibaut et al. (2018), se han concretado las prácticas instruccionales más comunes en contextos de secundaria y con mejores resultados (tabla 13), siendo sintetizadas en nueve grandes categorías:

Tabla 13. Visión general de las prácticas instruccionales de todos los artículos, organizadas en nueve categorías. Modificado de Thibaut et al. (2018)

Categoría	Prácticas instruccionales asociadas
Integración del contenido STEM	- Enfoque multidisciplinar - Enfoque interdisciplinar - Integración de contenidos - Integración contextual - Currículo integrado con atención equitativa a dos o más disciplinas - Currículo centrado en el conocimiento disciplinar - Integración explícita de conceptos de más de una disciplina - Integración de la tecnología - Traducción de representaciones entre disciplinas STEM - Conexiones entre objetivos, principios, conceptos y habilidades de distintas áreas. - Fusión de dos o más campos del contenido STEM
Enfoque en los problemas	- Aprendizaje basado en problemas - Aprendizaje centrado en problemas - Aprendizaje basado en proyectos - Definición, formulación, evaluación y resolución de problemas - Contextos significativos, motivadores o atractivos - Enfoque en ideas, conceptos o temas clave - Problemas reales, abiertos y auténticos
Indagación	- Planteamiento de preguntas - Planificación y realización de investigaciones - Recogida, análisis e interpretación de datos o información - Aprendizaje por descubrimiento - Enseñanza basada en la indagación - Indagación científica - Prácticas y procesos científicos auténticos
Diseño	- Aprender mediante el diseño - Aprendizaje basado en el diseño - Desarrollo y uso de modelos - Diseño de soluciones - Diseño de ingeniería - Justificación del diseño - Aprender del error y rediseñar en función del aprendizaje
Trabajo en equipo	- Aprendizaje colaborativo - Aprendizaje cooperativo - Comunicación de la información - Trabajo en pequeños grupos - Interdependencia en el trabajo grupal
Centrado en el estudiante	- Metodologías centradas en el alumnado
Hands-on (manos a la obra, en español), Aprendizaje práctico	- Actividades prácticas - Uso eficaz de materiales manipulativos
Evaluación	- Identificación de ideas previas, capacidades y errores del alumnado - Evaluación integrada en la enseñanza - Evaluación formativa y de desempeño - Escritura reflexiva - Aprovechamiento del conocimiento previo
Habilidades del siglo XXI	- el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la creatividad, la comunicación, la colaboración, la alfabetización digital e informacional, la autonomía, la adaptabilidad y la autorregulación del aprendizaje.

Es importante recalcar que, aunque no aparece como una categoría diferenciada, el *uso de herramientas tecnológicas* se presenta como un recurso transversal en todas las categorías que potencia la integración disciplinar, motiva, facilita la modelización de fenómenos, optimiza la recolección y análisis de datos, y contribuye al diseño y evaluación de soluciones (Thibaut et al., 2018). Autores como Toma y Greca Dufranc (2017) señalan que, aunque en Educación Primaria resulta más factible aplicar un enfoque curricular integrado debido a que un mismo docente imparte varias asignaturas, en Educación Secundaria su implementación es menos probable por la compartimentación curricular y la formación especializada del profesorado.

2.6 El aprendizaje situado y los problemas sociocientíficos: patrimonios controversiales como contextos educativos

En este apartado se abordan las bases teóricas que sustentan la necesidad de contextualizar el aprendizaje de las ciencias, atendiendo al enfoque del aprendizaje situado. Para ello, se presentan los problemas sociocientíficos como marcos didácticos que favorecen la reflexión crítica y, finalmente, se introduce el concepto de patrimonios controversiales como centros de interés idóneos para el desarrollo de propuestas de enseñanza comprometidas con el entorno social, cultural y ambiental del alumnado.

2.6.1 La enseñanza de las ciencias situada y contextualizada

El aprendizaje situado es una teoría que propone que las personas aprenden mejor cuando participan activamente en prácticas reales o simuladas, relacionadas con la vida cotidiana o profesional (Lave y Wenger, 1991). De Pro (2012) señalaba que la ciencia debe estar ligada a los problemas y necesidades ciudadanas de una forma más contextualizada y actualizada, y, además, no debe desligarse de las repercusiones sociales, históricas y tecnológicas del conocimiento científico. Además, recalcaba la idea de que “no se trata de acercar el aula a lo que hay fuera de ella, sino que el aula debería ser el motor de cambio para mejorar lo que hay fuera” (De Pro, 2012, p. 5). Años atrás, Brown et al. (1989) ya argumentaron que para el aprendizaje de un dominio debe introducirse en la cultura de ese dominio y usan el término de cognición situada haciendo hincapié en que el conocimiento no puede abstraerse de las situaciones en las que se aprende y se utiliza. En este sentido, el reto está es encontrar contextos relevantes social y científicamente que involucren al alumnado de una forma genuina y auténtica en las prácticas científicas (Tena, 2021).

Para Gilbert (2006) la enseñanza contextualizada es un enfoque metodológica, aportando una definición de contexto como una situación que da significado a palabras, frases y oraciones, y que proporciona una estructura de significado coherente y significativo para el alumnado. Se trata de las condiciones en las que se da o se resolverá un problema (Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019). Desde el año 2006, para informe PISA (OECD, 2008) las situaciones y contextos son definidas como la parte del mundo del alumnado en la cual se sitúan las tareas que se han de realizar. Según Márquez y Puig (2017) cuando se habla de contexto en educación hacen referencia a la situación, escenario o entorno real (o simulado mediante modelos) con el propósito de despertar en el alumnado la necesidad de comprender ciertos fenómenos que ocurren, han ocurrido u ocurrirán en el mundo, capacitándoles para desenvolverse activamente dentro de un comunidad de práctica.

Según Couso (2014), resulta muy útil que los diferentes modelos curriculares propongan contextos diversos en los que plantear la práctica científica como, por ejemplo, contextos de toma de decisiones, de indagación real, de indagación simulada, de resolución de problemas, de recreación histórica, etc. Actualmente, se plantea la cuestión de cómo integrar este enfoque en la enseñanza de las ciencias para ayudar a los estudiantes a desarrollar sus competencias científicas mediante prácticas de argumentación, indagación y modelización (Blanco-López et al., 2018), del mismo modo que la enseñanza contextualizada puede ayudar a desarrollar pensamiento computacional de los estudiantes, beneficiando no sólo a la programación y a la informática, sino también al resto de disciplinas (Li et al., 2020b).

En los enfoques tradicionales, los contextos se introducen después de los conceptos científicos, utilizándose únicamente como ejemplos ilustrativos sin un valor propio en el aprendizaje (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024). Una evolución de esta perspectiva plantea presentar los contextos al inicio para motivar a los estudiantes, aunque con la limitación de que, en muchos casos, no se retoman a lo largo de la enseñanza, quedando como meras anécdotas iniciales (Jiménez-Liso et al., 2001). En este sentido, se hace necesario que los contextos tengan lugar a lo largo de toda la secuencia didáctica ya que hay estudios que ponen de manifiesto que esto motiva al alumnado y promueve actitudes positivas hacia las ciencias (Bennett et al., 2007; Ultay y Calik, 2012).

Algunos autores defienden aterrizar a la ciencia en problemas socio-científicos relevantes que puedan suscitar discusiones constructivas entre docentes y estudiantes,

para que el aprendizaje pueda llegar a ser significativo a través de una mejor conexión entre los conceptos y su contexto (Gilbert, 2006; King, 2012).

2.6.2 Problemas sociocientíficos y los problemas controversiales en ciencias

A lo largo de la historia de la educación en ciencias, investigadores y profesionales han abogado por la contextualización de los contenidos científicos a través de la exploración de cuestiones socialmente relevantes, conocidas como cuestiones o problemas socio-científicos (SSI, por sus siglas en inglés), y en las que defienden la efectividad de las SSI como contextos para la enseñanza de las ciencias (Sadler y Dawson, 2012).

Los problemas sociocientíficos (Socio-Scientific Issues, SSI) llevan mucho tiempo formado parte de la literatura científica en el campo de la didáctica de las Ciencias Experimentales destacando su importancia tanto como contextos de aprendizaje, así como para el desarrollo de conocimientos, actitudes y valores. Estos problemas tienen como objetivo alcanzar una alfabetización científica funcional (Zeidler et al., 2019) e implican situaciones en las que se demanda un conocimiento científico que aún no se ha consolidado, considerados contextos ideales para ayudar a superar la visión de la ciencia asociada siempre con la “objetividad” y la “neutralidad” (España y Prieto-Ruz, 2010).

Autores como Sadler et al. (2007) y Beniermann et al. (2021) proponen reflexionar sobre la importancia de abordar temas contextualizados a través de los problemas sociocientíficos, ya que estos problemas reales y significativos no solo facilitan una comprensión más profunda de los contenidos científicos, sino que también representan un contexto eficaz para fomentar en el alumnado una actitud y pensamiento crítico. Del mismo modo, llevan al alumnado a adoptar un mayor compromiso ciudadano para tomar decisiones informadas sobre temas reales que conectan preocupaciones sociales, éticas, políticas y económicas con el conocimiento científico en las aulas de ciencias. Para Sadler et al. (2007), los problemas sociocientíficos hacen comprender al alumnado cuatro aspectos principales: que los problemas no tienen soluciones simples, que hay ser capaz de considerar diferentes puntos de vista, que hace falta una indagación y recopilación de información, y que se hace necesario cuestionar las fuentes y detectar sesgos.

A raíz del nuevo marco curricular (Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo), se han propuesto modelos de enseñanza (Figura 21) (Puig et al., 2023), para facilitar la

incorporación e integración de: los saberes básicos, las competencia específicas y las situaciones de aprendizaje, estrechamente relacionados y vinculados entre sí (Puig y Ageitos, 2023). Para Blanco-López et al. (2018) los problemas socio-científicos han de ser problemas reales, abiertos, complejos, relacionados con la ciencia y controvertidos.

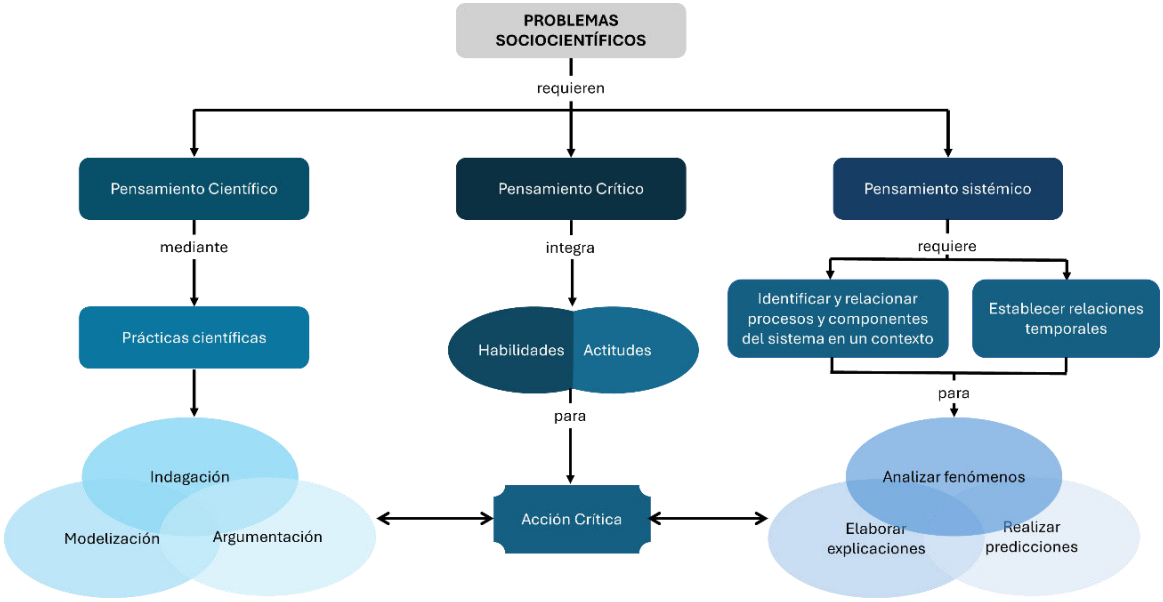


Figura 21. Esquema que representa la propuesta de Puig et al., (2023), con las principales nociones a tener en cuenta para trabajar problemas sociocientíficos en las aulas de ciencias. Tomado y elaborado a partir de (Puig et al., 2023).

Para ello, Kerr y Huddleston (2015) hacen una definición de temas controvertidos como aquellos que generan emociones intensas y dividen la opinión pública o a la sociedad (cambio climático, migración, religión...). Estos autores justifican su tratamiento en las aulas debido a que, en primer lugar, permiten desarrollar habilidades democráticas, pensamiento crítico, capacidad de diálogo, empatía y una ciudadanía activa y, en segundo lugar, porque son las aulas precisamente las que han de erigirse como espacios idóneos y seguros para el alumnado, para que sea posible explorar y expresar libremente estos problemas, sin temor, censura o miedo alguno (Kerr y Huddleston, 2015). Es importante recalcar la idea de que, en la enseñanza de los temas conflictivos o controversiales (los cuales se consideran sinónimos) no es pretender que sea la escuela la que tenga que resolver los conflictos, sino poner el foco en enseñar cómo y por qué se originan y cómo pueden gestionarse pacífica y democráticamente (López-Facal, 2011).

En este sentido, desde una perspectiva metodológica didáctica, la controversia, el debate y la discusión se han consolidado como estrategias clave en la educación para la ciudadanía (Pagès, 2019), y que ya tienen un largo recorrido para la formación del pensamiento crítico (Martín-Cáceres et al., 2022). Esto se debe a que trabajar temas

controversiales presenta diferentes beneficios educativos como la mejora de habilidades de debate, comunicación, razonamiento, evaluación crítica, respeto y escucha activa, autorreflexión y, sobre todo, prepara al alumnado para entender los conflictos sociales complejos del mundo real (Kerr y Huddleston, 2015).

En aras de aportar un marco para llevar a cabo buenas prácticas a la hora de trabajar problemas socio-científicos, Zeidler (2014) definió cuatro pautas para su adecuado desarrollo: promover el análisis crítico de problemas abiertos y controvertidos, fomentar el debate sobre temas científicos con impacto social, integrar el razonamiento moral en cuestiones éticas y priorizar la formación del carácter como objetivo educativo a largo plazo. Kerr y Huddleston (2015) harían hincapié en que el primer objetivo de la formación en temas controvertidos es la del profesorado ya que estos han de crear un clima seguro y respetuoso en el aula, fomentar debates estructurados e inclusivos, y ofrecer herramientas que permitan al alumnado analizar argumentos, contrastar perspectivas y tomar decisiones fundamentadas. Asimismo, subrayan la importancia de que el profesorado reflexione sobre sus propios valores, adapte su rol en función del contexto (como moderador imparcial, abogado del diablo o posición comprometida) y reciba una formación específica que le capacite para gestionar de forma pedagógica y ética los temas sensibles. Por su parte, Pace (2021) definió ocho elementos (figura 20) para crear planes de estudio eficaces y para la práctica reflexiva de los problemas controvertidos.

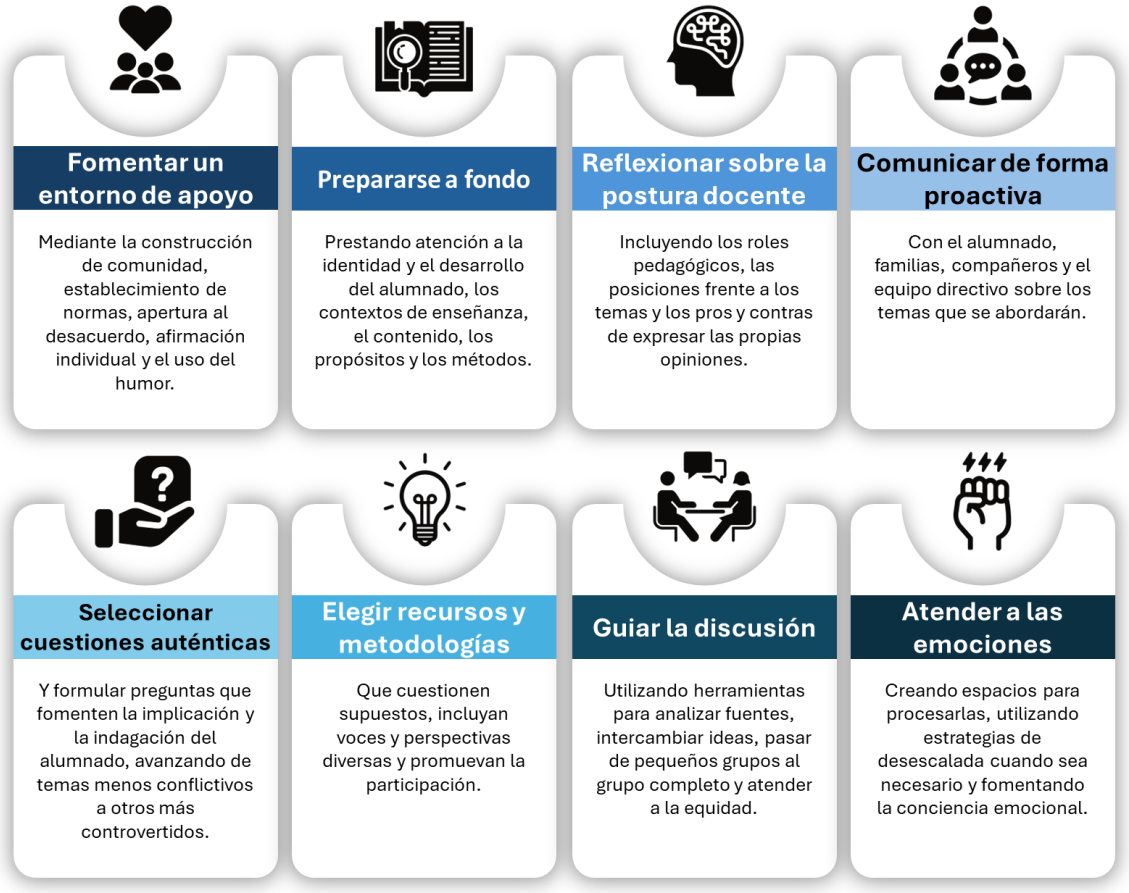


Figura 20. Marco para la enseñanza de los temas controvertidos basado en las investigaciones llevadas a cabo en Hard Questions: Learning to Teach about Controversial Issues por Pace, (2021). Tomado de su web: https://teachingcontroversies.com/framework/ y elaborado a partir de la misma.

Y es que los temas controvertidos siempre han estado presentes en la educación, aunque no siempre han tenido lugar de forma voluntaria o consciente, siendo estos vistos más como un obstáculo más allá de una oportunidad y se han enseñado de una forma reduccionista, con una finalidad únicamente culturalista o puramente conservacionista sin preguntarse el por qué, siendo en ambos casos descontextualizada y no significativa para el alumnado (Martín-Cáceres et al., 2021).

Así, se concluye este apartado poniendo de manifiesto que la literatura científica expone que el empleo de cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias impacta de forma muy positiva en el aprendizaje de contenidos, el desarrollo competencial, la toma de decisiones y el razonamiento del alumnado (Badeo y Duque, 2022). Asimismo, este tipo de cuestiones contribuye al fortalecimiento de la competencia emocional y la adquisición de valores éticos fundamentales, como la responsabilidad, la honestidad, la empatía o la integridad, considerados esenciales en la formación ciudadana (Gao et al., 2019).

2.6.3 Los patrimonios controversiales

El proyecto EPITEC 2 (Educación Patrimonial para la Inteligencia Territorial y Emocional para la Ciudadanía) aboga por trabajar sobre la base de los patrimonios controversiales como el marco ideal para trabajar problemas socioambientales relevantes y desarrollar competencias educativas (Arroyo-Mora et al., 2022; Estepa et al., 2021; Martín-Cáceres et al., 2021; Sampedro-Martín, 2024). Este enfoque conecta la inteligencia territorial con la inteligencia emocional, sirviendo de base para una educación holística, identitaria, innovadora y sociocrítica (Cuenca-López y Estepa, 2017). Para Miedes et al. (2014) la inteligencia territorial significa concebir el territorio no sólo como un espacio físico, sino como el eje que articula a las comunidades en torno a su producción biológica y social.

Desde esta perspectiva, los patrimonios controversiales, entendidos como aquellas perspectivas de elementos patrimoniales seleccionados didácticamente por su capacidad de generar conflicto, controversia, debate o dilemas en distintos ámbitos (ideológico, social, político, cultural, económico o ambiental) (Sampedro-Martín et al., 2022), se erigen como un recurso clave para abordar problemáticas socioecológicas y construir identidades territoriales y culturales (Cuenca-López y Estepa, 2017). A su vez, estos se postulan como herramientas para el análisis crítico y reflexivo sobre los contenidos que subyacen al patrimonio, como pueden ser la marginación o discriminación de ciertos grupos sociales, la historia hegemónica o la dominación humana sobre los cuerpos y territorios, para que permita desarrollar la capacidad de emprender acciones, tanto individuales como colectivas, orientadas a la construcción de una sociedad más justa, pacífica, equitativa y sostenible (Sampedro Martín et al., 2023), poniendo de manifiesto el potencial de transformación social que el patrimonio aporta a las comunidades con las que se vincula (Estepa, 2024).

A partir de Estepa y Martín-Cáceres (2018), se desarrolló numerosa producción científica sobre la enseñanza del patrimonio para la formación de una ciudadanía crítica y participativa (Martín Cáceres et al., 2022) planteando la necesidad de seleccionar los contenidos atendiendo a problemas socioambientales relevantes, lo que en origen se denominaron patrimonios en conflicto. Posteriormente, las investigaciones llevadas a cabo por el Proyecto EPITEC (Educación Patrimonial para la Inteligencia Territorial y Emocional de la Ciudadanía) darían lugar a la actual categorización de estos patrimonios controversiales en siete tipos que se encuentran clasificados y definidos en la (figura 21).

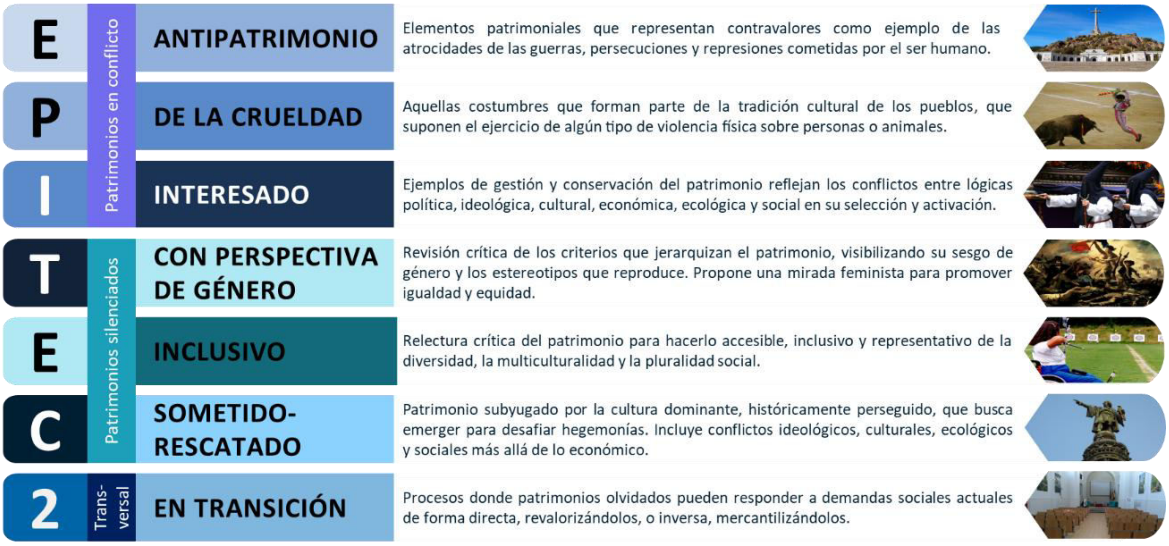


Figura 21. Esquema de los diferentes patrimonios controversiales definidos en el proyecto EPITEC2 a través de (Arroyo-Mora et al., 2022; Estepa y Martín-Cáceres, 2018; Sampedro Martín et al., 2023; Sampedro-Martín et al., 2022). Elaboración propia.

De igual forma, la educación patrimonial se presenta como un marco idóneo para tratar los desafíos socioambientales significativos que enfrenta nuestra sociedad actual (Martín-Cáceres et al., 2021). Para lograrlo, es fundamental que el profesorado sea capaz de diseñar propuestas didácticas que fomenten el pensamiento crítico del alumnado, utilizando metodologías activas, innovadoras y basadas en la experiencia (Pineda et al., 2017). Algunos autores como Miedes et al. (2014) sitúan a las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) como herramientas idóneas para ello cuando se orientan al servicio del desarrollo sostenible y de una gestión territorial más justa desde el punto de vista social.

Autores como Estepa y Delgado-Algarra, (2021) argumentan que trabajar estas temáticas controvertidas en el aula es clave para que el aprendizaje trascienda la simple transmisión de hechos observables y memorizables y, del mismo modo, defienden que en este marco educativo el alumnado desarrolle la capacidad de formular preguntas, que la indagación se convierta en motor del interés por el conocimiento, y que, mediante el debate y el consenso, puedan tomar decisiones fundamentadas y plantear posibles soluciones.

Además, los patrimonios controversiales son recurso para trabajar emociones y para la consecución de una sociedad más justa e igualitaria (Gómez-Hurtado y Cuenca-López, 2022). Las experiencias educativas basadas en patrimonios controversiales no solo generan emociones positivas en el alumnado, sino que también se revelan como propuestas necesarias y valiosas en la formación inicial del profesorado para fomentar una

ciudadanía crítica y comprometida (González Castanedo et al., 2024). En esta misma línea, la educación emocional fomenta la motivación, generando satisfacción y bienestar. De hecho, dado que el aprendizaje requiere emociones, el patrimonio se presenta como una valiosa herramienta educativa por su gran capacidad para evocar sentimientos (Santacana y Martínez, 2018).

2.6.3.1 El ejemplo del río Tinto y su entorno como patrimonio controversial

Minas de Riotinto, situada en la Cuenca Minera de Huelva, España, ha constituido tradicionalmente un núcleo clave de explotación minera y metalúrgica, configurando un paisaje en constante transformación desde la Edad del Cobre (Delgado-Domínguez, 2020). En esta cuenca transcurre el río Tinto, caracterizado por el singular color rojizo de sus aguas con bajos niveles de pH, que continúa generando debate en el ámbito socio-científico, despertando el interés de geólogos, biólogos y químicos, siendo además objeto de numerosos estudios por parte de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) debido a sus similitudes con el entorno marciano (Fernández-Remolar et al., 2005).

Según González Castanedo et al. (2024), el patrimonio geológico-minero del entorno del río Tinto está marcado por dos grandes controversias. Por un lado, existe un debate científico en torno al origen de la contaminación del río, con dos principales líneas de investigación que sostienen posturas opuestas: una que la atribuye a causas naturales y otra que la relaciona con la actividad minera de origen humano, lo que genera distintas interpretaciones sobre el impacto real de la minería en el ecosistema. Por otro lado, desde una perspectiva social e histórica, el territorio de Riotinto y su entorno pueden considerarse un patrimonio controversial, resultado de las profundas transformaciones provocadas por el asentamiento británico y la posterior explotación minera. La llegada de empresas británicas en 1873 como la Rio Tinto Company Limited, no solo supuso la extracción intensiva de recursos del subsuelo, sino también el sometimiento de la población local a dinámicas de dominación y control, cuyas huellas siguen siendo visibles en el paisaje, la arquitectura, la cultura y en la memoria colectiva de la provincia de Huelva (Maurín Álvarez, 2016). Acorde a esto, autores Rodríguez-Marín (2007) se alinean con esta postura al defender que en Riotinto se reprodujeron dinámicas propias del colonialismo británico, estableciendo relaciones jerárquicas entre la empresa minera y la comunidad local.

Así, la localidad de Minas de Riotinto, el río Tinto y su entorno, entran en una doble clasificación teniendo en cuenta el esquema de los patrimonios controversiales (figura 23). Por un lado, los elementos patrimoniales que lo constituyen pueden considerarse patrimonios interesados, por los conflictos de intereses que suscitan a nivel socioambiental, científico, cultural y económico y, por otro, como patrimonios sometido-rescatados, debido a la semicolonización británica (Arroyo et al., 2022; Estepa et al., 2021; Sampedro Martín et al., 2023).

2.7 La dimensión afectiva: emociones en la enseñanza

Este apartado tiene como objetivo analizar el papel de las emociones en el aula de ciencias, así como profundizar en el concepto de emociones académicas, entendidas como aquellas que surgen en relación con actividades y resultados de aprendizaje. Para ello, se aborda en primer lugar la influencia de la dimensión afectiva en el contexto educativo, y posteriormente se presenta el marco teórico propuesto por Pekrun y Linnenbrink-García (2012) y su clasificación de las emociones académicas.

2.7.1 Las emociones en el aula de ciencias

Las emociones son respuestas complejas del sistema psicofísico que implican una combinación de componentes afectivos, motivacionales, cognitivos, conductuales y fisiológicos, y se activan ante situaciones que la persona percibe como significativas o relevantes (Scherer y Moors, 2019). El papel de las emociones en el aprendizaje ha sido ampliamente reconocido por diversos estudios, que destacan su influencia no solo en el rendimiento académico, sino también en la salud mental y el bienestar del alumnado (Lincoln y Kearney, 2019; Mellado, Borrachero, Brigido, et al., 2014; Tyng et al., 2017). En este sentido, se sabe que la gestión emocional adecuada no solo favorece un clima positivo en el aula, sino que también mejora la atención, incrementa la motivación, despierta la curiosidad y potencia variables directamente vinculadas a la capacidad de aprender (Sáenz-López, 2020).

Además, las emociones desempeñan un papel fundamental en muchos ámbitos educativos, desde el propio desempeño docente, la planificación del currículo, así como la relación con el alumnado y colegas de profesión, ofreciendo ideas para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Zembylas, 2002). Respecto a esto, autores como Santacana y Martínez (2018) destacan que la educación requiere de las emociones, pues poco puede construirse entre individuos que permanecen insensibles a ellas.

En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, el componente emocional cobra especial relevancia, ya que las actitudes, afectos y emociones pueden influir significativamente en el desarrollo de vocaciones científicas (Lehtamo et al., 2018; Mellado, Borrachero, Brigido, et al., 2014). En esta línea, Romero-Fernández et al. (2023), destacan que incorporar el enfoque emocional en esta área permite no solo comprender mejor el proceso de aprendizaje, sino también aplicar estrategias más efectivas para mejorarlo. Metodologías como la indagación o la modelización estructuran la enseñanza en fases motivadoras y permiten implicar al alumnado tanto intelectual como emocionalmente en la resolución de problemas (Retana Alvarado et al., 2023), además de promover aprendizajes significativos mediante la activación de emociones epistémicas como la curiosidad o la sorpresa (Jimenez-Liso et al., 2022). Jiménez-Liso (2020) añadiría además que los procesos de indagación emocionan ya que generan inseguridad ante preguntas-problema, vergüenza al no saber responder, interés para resolver problemas, confianza para expresar ideas personales, sorpresa cuando los datos contradicen lo que se pensaba, aburrimiento cuando entra en juego tener que buscar explicaciones o satisfacción al ser consciente de que se ha entendido algo nuevo.

No obstante, a pesar de su importancia, la dimensión emocional ha sido tradicionalmente una de las más relegadas en las reformas educativas, que han tendido a centrarse en los aspectos cognitivos del aprendizaje, dejando en segundo plano el impacto de las emociones en el proceso educativo (Hargreaves, 1998; Liang et al., 2021).

En relación con la dimensión afectiva de la enseñanza de las ciencias, a la hora de diseñar secuencias de enseñanza-aprendizaje hay que tener en cuenta qué emociones se producen cuando se enseña ciencias, cuando se aprende ciencia y cuándo se producen esas emociones dentro de una secuencia de actividades (Jiménez-Liso et al., 2023). Sadler (2004) ya manifestaba el papel central que jugaban las emociones en la configuración de decisiones socio-científicas, señalando el vínculo inseparable entre la toma de decisiones que involucra aspectos morales y de afectividad.

En los últimos años, el auge de los enfoques STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*) ha puesto de relieve la importancia de comprender y medir las emociones en entornos de aprendizaje mediados por tecnología, ya que estas promueven el progreso del aprendizaje en múltiples disciplinas (Lajoie et al., 2020). Sin embargo, estudios recientes muestran una tendencia preocupante: a medida que el alumnado transita de la educación primaria a la secundaria, se observa una disminución

notable de las emociones positivas y un aumento de las emociones negativas hacia las materias STEAM (Martinez-Borreguero et al., 2019). Esta diferenciación entre emociones positivas y negativas surge de una polarización llevada a cabo para clasificarlas según su valencia, donde las positivas se consideran como agradables, ya que surgen cuando se consigue un objetivo y tienen tendencia a la aproximación y, por el contrario, las negativas consideradas desagradables, se manifiesta cuando se obstaculiza un propósito, existiendo una tendencia a su evitación (Fernández-Abascal, 2009). Bisquerra (2016), por su parte, propuso una organización de las emociones, eliminado la polaridad y diferenciando entre emociones positivas, negativas y ambiguas, según su impacto en el bienestar propio y ajeno.

En este contexto, identificar las emociones y sensaciones concretas que surgen en el aula se vuelve esencial, ya que permite anticiparse a posibles bloqueos emocionales como la inseguridad, o valorar positivamente emociones como la satisfacción, que podrían pasar desapercibidas (Jiménez-Liso et al., 2023). Respecto a esto, estudios recientes demuestran que las valoraciones emocionales del alumnado sobre el diseño y desarrollo de las secuencias didácticas son útiles y necesarias para analizar sus causas en aras de mejorar propuestas educativas, así como las diferencias entre los aprendizajes obtenidos y los deseados (Muñoz-Campos et al., 2020).

Además, el contexto en el que se produce el aprendizaje influye directamente en cómo se experimentan, expresan, perciben y regulan las emociones (Greenaway et al., 2018). En este sentido, la educación patrimonial ha sido reconocida por su capacidad para suscitar emociones a través del contacto con bienes culturales, convirtiéndose así en un recurso didáctico de gran valor motivacional que favorece el proceso de enseñanza-aprendizaje (Palacios et al., 2023; Santacana y Martínez, 2018). Las emociones, por tanto, no solo son fundamentales en la experiencia social, sino que también desempeñan un papel decisivo en el desarrollo del pensamiento científico creativo, al impulsar movimientos sociales, científicos e intelectuales orientados al cambio (Parker y Hackett, 2012). Numerosos estudios evidencian la necesidad de desarrollar actividades que, además de regular el aprendizaje, tengan en cuenta las emociones que manifiesta el alumnado y analizar sus causas (Amat y Sellas Ayats, 2017; Pérez-Bueno et al., 2024).

2.7.2 Las emociones académicas

La caracterización de las emociones ha variado a lo largo del tiempo. Autores como (Izard, 1991, 1992) describen seis emociones fundamentales o primarias que se dan y

reproducen en todas las culturas: la alegría, la tristeza, el miedo, el asco, la sorpresa y la ira. Posteriormente, Mellado et al. (2014), ampliaron esta clasificación al incluir las emociones secundarias, entendidas como combinaciones de las emociones primarias influenciadas por factores sociales y culturales.

En esta línea, diversos autores señalan la necesidad de focalizarse en aquellas emociones que impulsan a la acción o a aquellas que generan inmovilidad (Mellado, Borrachero, Brigido, et al., 2014; Pekrun y Stephens, 2010). Investigaciones más recientes como la de Hernández-Barco et al. (2021) clasifican las emociones en dos grandes grupos: represoras (como el aburrimiento, la confianza o el rechazo) y activadoras (como la diversión, el nerviosismo, la sorpresa o la preocupación). Sin embargo, centrarse únicamente en la valencia positiva o negativa de las emociones puede resultar insuficiente para comprender su función en el aprendizaje (Pérez-Bueno et al., 2024).

Uno de los marcos que se consideran relevantes para el análisis de la dimensión afectiva es el de las emociones académicas (Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2012). Estas emociones se definen como aquellas que emergen en relación con actividades o resultados académicos, relacionados con el logro, tras una evaluación cognitiva y valorativa del contexto educativo (Pekrun, 2000, 2006; Pekrun et al., 2002). Son consideradas un componente importante del aprendizaje que, junto con los objetivos cognitivo-conductuales intelectuales, deben ser objetivos explícitos del aprendizaje (Ben-Eliyahu, 2019).

La respuesta emocional depende de una valoración subjetiva del estímulo, lo que explica la diversidad de reacciones ante una misma situación educativa (Pérez-Bueno et al., 2024). Según la Teoría del Control-Valor de las Emociones (Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2012), estas emociones están determinadas por el grado de control que el estudiante percibe tener sobre la tarea y el valor que le atribuye, influyendo directamente en su participación, rendimiento y bienestar escolar. A partir de este enfoque teórico, Pekrun y Linnenbrink-García (2012) proponen una categorización de las emociones académicas en cuatro grandes grupos: emociones de logro, epistémicas, temáticas y sociales (tabla 14), para identificar el tipo de emoción experimentada y su origen dentro del proceso educativo ya sea vinculado a los resultados obtenidos, a la adquisición y procesamiento del conocimiento, al contenido específico del aprendizaje o a las relaciones sociales en el aula.

Tabla 14. Categorización de las emociones académicas según Pekrun y Linnenbrink-García (2012). Elaboración propia.

Tipo de emoción	Definición	Emociones comúnmente asociadas	Ejemplos
Emociones de logro	Relacionadas con actividades y resultados evaluados según estándares de competencia.	orgullo, esperanza, ansiedad, frustración, y alivio	Orgullo tras aprobar un examen, esperanza antes de una evaluación, ansiedad al temer no cumplir expectativas, desesperanza al creer que el esfuerzo no será suficiente.
Emociones epistémicas	Surgen de los aspectos cognitivos de la tarea o del procesamiento de información, como la incongruencia cognitiva.	curiosidad, sorpresa, ansiedad, disfrute y frustración	Sorpresa al descubrir un dato inesperado, curiosidad al explorar un tema nuevo, frustración ante problemas sin resolver, disfrute al descubrir una solución.
Emociones temáticas	Provocadas por el contenido del material de estudio, incluyendo reacciones emocionales frente a los temas tratados.	vergüenza, orgullo, admiración, envidia y empatía	Empatía al aprender sobre las dificultades sociales durante la Revolución Industrial, frustración por decisiones políticas controversiales, asombro ante avances científicos o eventos históricos significativos.
Emociones sociales	Relacionadas con el contexto social del aprendizaje, incluyendo interacciones con compañeros y profesores.	interés, rechazo, frustración	Interés al compararse con otros, o al apoyar emocionalmente a un compañero, frustración ante actitudes percibidas como injustas en un trabajo grupal.

A raíz de esto, autores como Pekrun et al. (2002) argumentarían la necesidad de poner atención emociones como la curiosidad, pues se trata de una emoción epistémica clave que impulsa la motivación intrínseca y favorece el aprendizaje basado en la exploración. Por otro lado, la admiración está relacionada con la dimensión emocional del patrimonio, destacando su capacidad para generar respeto y promover una reflexión crítica (Santacana y Martínez, 2018). El orgullo, en cambio, se considera una emoción de logro asociada al éxito académico y a la superación de desafíos técnicos (Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2012). Investigaciones recientes apuntan a que las emociones de logro están estrechamente relacionadas con la motivación, la autorregulación y los procesos cognitivos, todos ellos fundamentales para el rendimiento académico pero, sin embargo, todavía hay pocos estudios que recopilen y analicen de forma global esta conexión (Camacho-Morles et al., 2021).

Diferentes estudios como los de Pérez-Bueno et al. (2024) han llevado a cabo investigaciones para presentar un instrumento (figura 22) que ayude categorizar y conocer las emociones suscitadas en las aulas de ciencias y categorizarlas en los cuatro tipos

diferentes de emociones académicas fundamentadas en los trabajos de Pekrun y Linnenbrink-Garcia (2012).



Figura 22. Jerarquización de los enfoques académicos en los que se pueden agrupar las emociones experimentadas (Pérez-Bueno et al., 2024). Elaboración propia.2

Por ello, autores como Mega et al. (2014) defienden que resulta fundamental considerar las emociones académicas al seleccionar las estrategias de aprendizaje, ya que estas pueden ejercer una influencia significativa en el proceso de aprendizaje del alumnado. Estas suponen experiencias emocionales vividas por los estudiantes durante situaciones de enseñanza y aprendizaje (Pekrun, 2006), que más allá de ser detectadas, el foco ha de estar en conocer su naturaleza y origen (Goetz et al., 2007).

2.8 Los contenidos abstractos de ciencias: el caso del pH

El concepto de pH resulta fundamental para la comprensión de una amplia variedad de fenómenos en las ciencias, ya que permite interpretar con mayor profundidad las reacciones químicas, así como los procesos biológicos y aplicaciones industriales que dependen del grado de acidez o basicidad de una sustancia. En el caso de la química, el pH está directamente relacionado con la concentración de iones hidrógeno (H^+) en una disolución, lo que determina el comportamiento ácido-base de las sustancias y puede influir significativamente en la velocidad de ciertas reacciones (Antosiewicz y Kane, 2022). En biología, conocer el pH es clave para entender el funcionamiento de enzimas, membranas celulares o rutas metabólicas, muchas de las cuales solo se desarrollan de forma adecuada dentro de márgenes concretos de acidez (Levin y Buck, 2015). Además, el pH del suelo desempeña un papel determinante en el desarrollo de las especies vegetales, ya que condiciona la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana que favorece el crecimiento de las plantas. Por otro lado, en el ámbito industrial, el control del pH resulta imprescindible en sectores como el tratamiento de aguas residuales (Boczkaj y Fernandes,

2017), la industria farmacéutica y cosmética, o la alimentación, donde tiene especial relevancia en procesos como la fermentación.

No obstante, diversas investigaciones han identificado dificultades persistentes en el aprendizaje de este tema dado su nivel de complejidad conceptual (Clark et al., 2023; Siswaningsih et al., 2020). Varios estudios coinciden en que los estudiantes de secundaria suelen presentar concepciones alternativas y errores comunes al abordar la química ácido-base, especialmente en relación con la neutralización, el significado del pH y las propiedades de los ácidos y las bases (Kala et al., 2013; Sheppard, 2006a). Lin y Chiu (2008) observaron que muchos alumnos de secundaria creen erróneamente que el pH mide únicamente la acidez, mientras que el pOH se asocia exclusivamente a la basicidad. Por su parte, López-Banet et al. (2021) advierten que los estudiantes tienden a interpretar el pH como una escala lineal en lugar de logarítmica, lo que les lleva a pensar, por ejemplo, que añadir agua destilada a una solución ácida provoca un aumento proporcional del pH. Además, se han identificado otras dificultades relevantes, como la tendencia a interpretar el pH como una propiedad fija e inalterable de las sustancias, la confusión entre dilución y neutralización, la dificultad para representar el predominio ácido-base en una mezcla, y la ausencia de modelos moleculares dinámicos que expliquen los cambios químicos implicados (Jimenez-Liso et al., 2022)

En este sentido, la tecnología digital puede contribuir a mejorar la calidad de la enseñanza de la química en aspectos técnicos, cognitivos y sociales (Dewi et al., 2021), y esto no es nada nuevo puesto que ya que se ha comprobado que la visualización continua de datos (gráficos dinámicos de pH en tiempo real) tienen un efecto positivo sobre la reorganización cognitiva y el desarrollo de representaciones internas (Nakhleh y Krajcik, 1994).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño y enfoque de investigación

El presente trabajo se enmarca dentro de la investigación eminentemente cualitativa aunque con algunos estudios cuantitativos (multimétodo) dentro de un paradigma sociocrítico, donde se analizan transformaciones para dar respuesta a determinados problemas generados por éstas (Latorre, 2005) y entendida como una aproximación metodológica orientada a analizar procesos educativos contextualizados, atendiendo a las significaciones que los propios participantes atribuyen a sus acciones y decisiones (Denzin y Lincoln, 2011). Este enfoque parte de una lógica epistemológica inductiva, lo que implica construir comprensiones teóricas a partir de la realidad concreta y situada, sin partir de hipótesis cerradas, sino permitiendo que los significados emerjan del contacto directo con los datos (Latorre, 2005).

Esta orientación se materializa en el desarrollo de una tabla de categorías elaborada a partir del análisis cualitativo de las producciones del alumnado, los registros videograbados del debate, las observaciones de aula y otros instrumentos utilizados. La investigación cualitativa se caracteriza por explorar la realidad educativa en contextos reales, empleando técnicas abiertas de recogida de datos y un análisis inductivo que permite construir comprensiones fundamentadas a partir de la información recogida (Flick, 2015; Stake, 1995), resultando especialmente adecuado cuando se pretende examinar cómo se configuran y transforman las prácticas educativas en situaciones específicas de intervención.

El diseño de investigación adoptado corresponde a un estudio de caso (Merriam, 1988), que permite explorar un caso singular sobre una situación de aprendizaje interdisciplinar centrada en el patrimonio controversial del río Tinto, con la finalidad de interpretar los fenómenos que emergen en dicho contexto. El estudio de caso constituye una estrategia metodológica idónea cuando se busca comprender la complejidad de un caso concreto en su contexto real, especialmente cuando las fronteras entre el fenómeno y el contexto no están claramente delimitadas (Yin, 2018). Además, esto significa un mayor desarrollo y nivel de implicación al estar vinculado a una población de referencia cercana (Latorre, 2005). Desde una perspectiva sociocrítica, se trata de construir una narrativa analítica que permita identificar patrones, categorías emergentes y conexiones teóricas, tal como proponen Simons (2009) y Martínez-Miguélez (2007).

La situación de aprendizaje (SA) desarrollada en esta tesis se plantea como eje articulador del estudio de caso, y no como una simple intervención didáctica. La situación de aprendizaje no solo constituye el escenario de análisis, sino también el dispositivo metodológico a través del cual se implementan tres enfoques didácticos interrelacionados como la indagación, la modelización y el pensamiento computacional, como proceso de resolución de problemas, aplicados a una problemática educativa situada. En este sentido, se la concibe como una unidad de análisis compleja, que permite observar cómo determinadas metodologías pueden contribuir al desarrollo del pensamiento crítico del alumnado y a las emociones académicas suscitadas en su puesta en marcha.

El desarrollo del estudio incorpora, en una de sus fases iniciales, un estudio ex post-facto de tipo cualitativo, orientado a analizar de forma comparativa las concepciones del alumnado antes de la implementación de la secuencia didáctica. Este diseño no experimental ha permitido contrastar las ideas previas en función de su participación o no en contextos educativos innovadores, a partir de instrumentos de recogida como los cuestionarios abiertos. En la figura 23, se recogen los principales aspectos metodológicos de esta tesis doctoral:

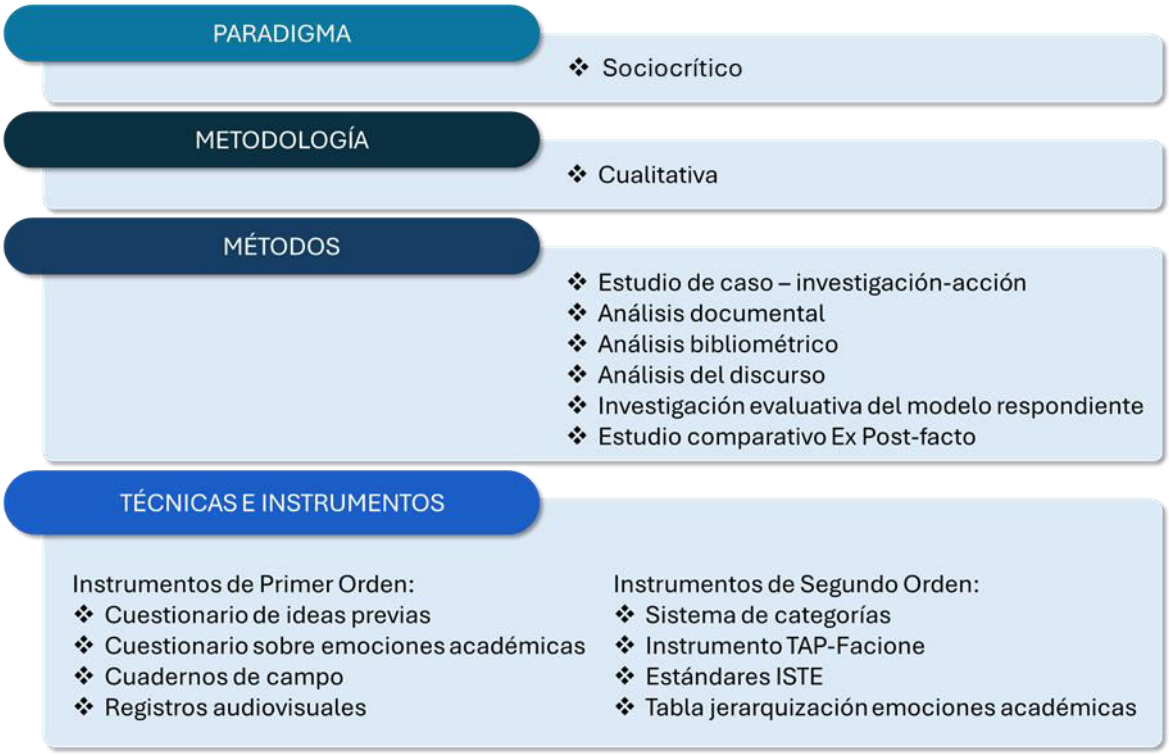


Figura 23. Estructura de las investigaciones que componen la tesis doctoral

Además, el desarrollo del estudio responde a una lógica de investigación-acción, entendida como una estrategia orientada tanto a la mejora de la práctica educativa como

a la producción de conocimiento riguroso sobre dicha práctica (Elliott, 1993; Kemmis y McTaggart, 2000), y considerado como uno de los procesos importantes en la investigación interpretativo-crítica (Vázquez-Bernal, 2005). Es remarcable que en las dimensiones conceptuales y metodológicas existen similitudes con el paradigma interpretativo, aunque el sociocrítico añade un componente ideológico con el fin de transformar la realidad, además de describirla y comprenderla (Latorre, 2005). En este sentido, se comprueban ideas en la práctica para conseguir mejoras, acrecentando los conocimientos sobre la enseñanza, el aprendizaje o sobre el currículo (Goyette y Lessard-Hébert, 1988), que en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias es idóneo reconociendo la espiral reflexiva de planificar, actuar, observar y reflexionar (Hewson y Beeth, 1999).

En conjunto, puede afirmarse que el enfoque metodológico adoptado en esta tesis es de tipo multimétodo, ya que combina elementos cualitativos y cuantitativos de forma complementaria. Aunque el enfoque dominante es cualitativo, el análisis bibliométrico realizado en la primera fase permite incorporar una dimensión cuantitativa relevante, en tanto que fundamenta las decisiones curriculares y el diseño de la secuencia implementada (Johnson y Onwuegbuzie, 2004). Esta combinación metodológica permite abordar el objeto de estudio desde una perspectiva holística, integradora y situada.

El diseño de esta tesis ha sido estructurado, además, en dos niveles que se consideran complementarios. Para facilitar la comprensión, se ha establecido una división general y operativa en tres grandes fases: una fase diagnóstica previa, una fase de implementación y una fase de análisis de resultados (véase figura 24), que posteriormente se subdividirán en fases de investigación en el siguiente apartado 3.2.



Figura 24. Esquema ilustrativo de las tres fases generales de esta tesis doctoral.

Esta organización general ha permitido articular las distintas producciones académicas (artículos, capítulos de libro, comunicaciones...) en relación con cada una de estas fases (tabla 15), respondiendo tanto a criterios metodológicos como a decisiones organizativas asumidas en la planificación del compendio.

Tabla 15. Producciones científicas de la tesis doctoral asociadas a las 3 fases generales.

Fase	N.º Publicación	Referencias de la producción científica de la tesis	Tipo de producción
Fase 1: Diagnóstico y fundamentación teórica	1	Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (2022). *Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y resolución de problemas en las aulas de ciencias*. *30 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 517–522). ISBN: 978-84-338-7039-1.	Comunicación en congreso
	2	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	Artículo científico
	3	Campina López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (2024). *Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny*. *Revista Eureka*, 21(1), 1102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102	Artículo científico
Fase 2: Diseño e implementación de la secuencia	4	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* (cap. 5). Ediciones Octaedro. ISBN: 978-84-1079-063-6.	Capítulo de libro
	5	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* (cap. 6). Ediciones Octaedro. ISBN: 978-84-1079-063-6.	Capítulo de libro
	6	Campina-López, A. C., Arroyo, E., y Sampedro-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* (cap. 7). Ediciones Octaedro. ISBN: 978-84-1079-063-6.	Capítulo de libro
	7	Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á., & 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	Artículo científico

	8	Campina-López, A. C., Arroyo, E., y Sampedro-Martín, S. (en prensa). *Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria*. *VI Congreso Internacional de Educación Patrimonial (CIEP6)*, Ministerio de Cultura (obra colectiva).	Póster
Fase 3: Análisis	9	Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á., & Bosnjak-Stepanović, M. (2024). *Developing computational thinking through understanding the pH concept: A study with Micro Bit in secondary education*. En *STEAM+X 2024 Conference Proceedings* (pp. 031–041). https://doi.org/10.46793/STEAM-X24.031CL	Comunicación en congreso
	10	Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., & De las Heras Pérez, M. Á. (2025). *Characterization of Emotions Linked to the Study of a STEAM Project Contextualized in a Controversial Heritage*. *Education Sciences (MDPI)*.	Artículo científico
	11	Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (en prensa). *Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: Un estudio de caso sobre patrimonios controversiales*. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales (DCES)*.	Artículo científico

Del mismo modo, estas fases generales se fundamentan en el ciclo reflexivo de mejora educativa propuesto por autores como Elliott (1993), Hewson y Beeth (1999) o Kemmis y McTaggart (2005), y se desarrollarán de forma más detallada a partir de la propuesta de seis fases secuenciales planteada por Latorre (2005), la cual se abordará en el apartado 3.5. del presente capítulo, dedicado a la descripción de las fases de la investigación.

Aunque el enfoque eminentemente dominante es cualitativo, cabe señalar que, en la fase inicial, a excepción de un análisis documental previo, se llevó a cabo un análisis bibliométrico, con el objetivo de explorar el estado de la cuestión sobre la integración de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional en el ámbito de la educación científica. Este componente, de carácter cuantitativo, se considera relevante para justificar la viabilidad del diseño de la situación de aprendizaje, así como para fundamentar las decisiones curriculares adoptadas. De este modo, el estudio podría ser considerado un diseño de tipo multimétodo (Johnson y Onwuegbuzie, 2004), ya que combina de forma complementaria métodos cuantitativos y cualitativos, cada uno alineado con los objetivos específicos de la investigación.

En conjunto, y a modo de síntesis, se trata de un estudio de caso contextualizado, cualitativo, de orientación interpretativa, con elementos de investigación-acción y diseño

multimétodo, cuyo propósito no pretende ser la la generalización estadística, sino la generación de conocimiento situado, comprensivo y transferible a contextos educativos similares.

3.2 Fases del proceso de investigación

Como se comentó anteriormente, a partir de las fases generales definidas en el apartado anterior, derivan de ellas seis fases interrelacionadas (fase exploratoria, planificación, fase de entrada al escenario, fase de recogida y análisis de la información, fase retirada del escenario y fase de elaboración del informe) que responden a un proceso constructivista/cualitativo y a los principios de la investigación-acción. Este desarrollo se basa en el esquema metodológico propuesto por Latorre (2005), quien plantea un proceso investigativo flexible, reflexivo y orientado a la mejora de la práctica educativa. Esta lógica cíclica ha permitido integrar el análisis teórico, el diseño e implementación de una propuesta didáctica interdisciplinar y la recogida e interpretación de evidencias en un contexto educativo real.

Estas fases han sido adaptadas a las características específicas de la presente investigación, manteniendo su coherencia interna y articulando los distintos momentos de análisis, diseño, implementación y evaluación del estudio de caso. En aras de dar una visión mucho más amplia de todo el proceso, se presenta en la siguiente figura 25 un esquema donde las tres fases generales se agrupan y asocian con las seris fases del proceso de investigación y resume gráficamente el esquema general del proceso que se ha llevado a cabo:

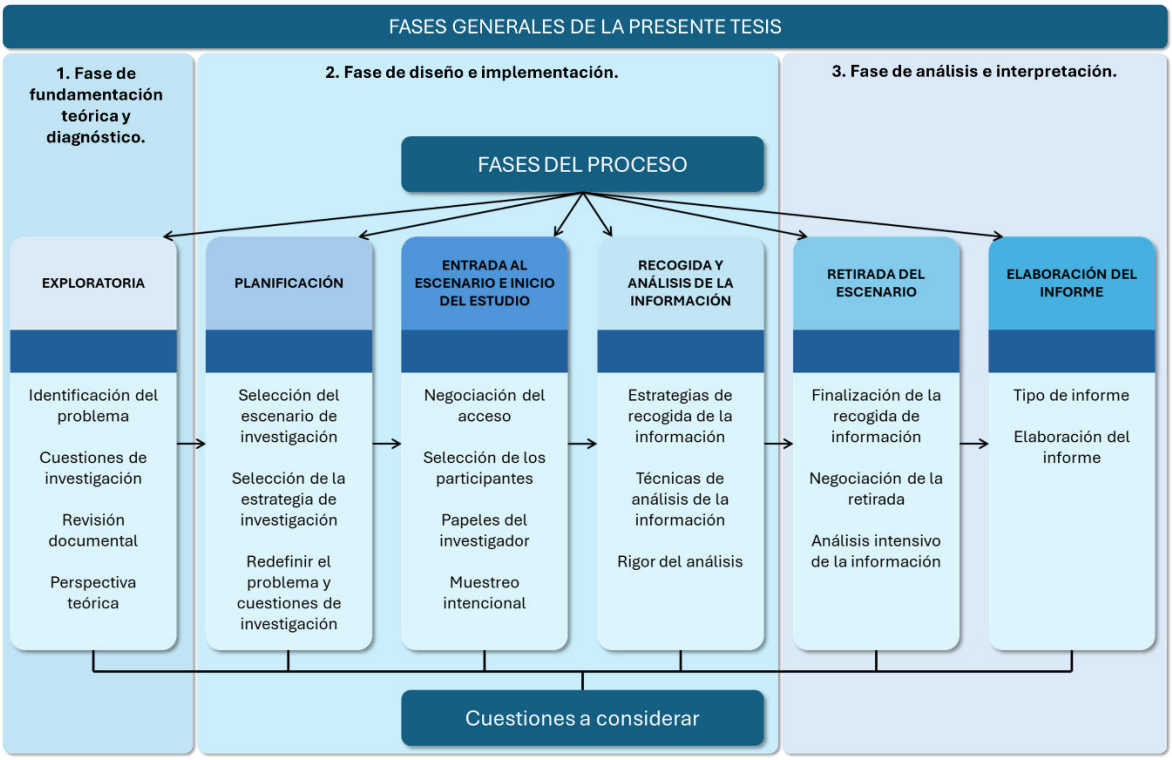


Figura 25. Fases Generales de la presente tesis y su relación con el proceso de investigación constructivista/cualitativo adaptado de Latorre, (2005). Elaboración Propia.

A continuación, se desarrollan de forma detallada las distintas fases del proceso investigativo, vinculándolas con los artículos, capítulos, comunicaciones y pósteres, así como con los métodos e instrumentos empleados en cada una de ellas.

3.2.1 Fase 1. Exploratoria

La primera fase del proceso investigativo corresponde con la fase exploratoria o de reflexión, entendida como el momento inicial en el que se identifican los problemas o áreas de mejora en la práctica educativa, y se delimitan las bases teóricas y metodológicas que sustentan el estudio (Latorre, 2005). Una vez definido el gran problema que guiará la investigación, se identifican los ámbitos en los que es relevante el estudio, los sujetos que pueden ser fuente de información, así como los objetivos de la investigación (Bisquerra, 2004). Estos objetivos no nacieron todos aquí, sino que algunos de ellos surgieron a lo largo de la investigación y esto es algo normal ya que, se caracteriza por una constante interacción entre acción y reflexión con el objetivo de aplicar contenidos para transformar la realidad (Latorre, 2005).

De esta forma, el equipo de cual formo parte se focalizó en la necesidad de llevar a cabo un proyecto educativo que tuviera en cuenta un entorno natural donde la indagación, la modelización y el pensamiento computacional convergieran en un proyecto para

desarrollar una verdadera competencia digital y alfabetización científica a través de la programación y construcción de herramientas para la toma de datos a través de sensores. Como la finalidad era fomentar el desarrollo del pensamiento crítico, como una habilidad esencial necesaria para una ciudadanía científicamente alfabetizada, el centro de interés lo enfocamos en el estudio del río Tinto y su entorno, en la provincia de Huelva, el río Tinto. Este centro de interés fue seleccionado sabiendo el potencial educativo que tienen los patrimonios controversiales para suscitar emociones y desarrollar el pensamiento crítico, tal y como se detalló y fundamentó en el capítulo 2 de esta tesis doctoral, al igual que la necesidad de trabajar problemas sociocientíficos ligados a situaciones reales del entorno del alumnado. Pero ¿cómo hacer converger y vertebrar todo esto?

Según Latorre (2005), esta fase resulta clave ya que permite al investigador posicionarse críticamente ante el objeto de estudio y orientar el diseño posterior desde una comprensión profunda del contexto y la literatura especializada. Así, en esta investigación, la fase exploratoria se ha desarrollado en torno a dos grandes líneas de actuación complementarias:

- Revisión teórica y análisis documental: Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica en torno a tres enfoques metodológicos clave: la indagación, la modelización y el pensamiento computacional. Esta revisión permitió sentar las bases conceptuales del diseño didáctico y generar un marco sólido que justificara su integración conjunta en el aula. Como resultado de este proceso, se propuso un modelo original del ciclo del pensamiento computacional, articulado a partir de las conexiones entre estas metodologías. Dicho modelo ha sido recogido y discutido en el artículo publicado en Ápice. Revista de Educación Científica (Publicación 2), en el que también se analizan sus posibilidades para el desarrollo del pensamiento crítico y la resolución de problemas en Educación Secundaria.
- Estudio bibliométrico: Con el fin de contextualizar el diseño desde una perspectiva empírica y diagnóstica, se llevó a cabo un análisis bibliométrico con el uso del software Bibliometrix a través de Biblioshiny. Este análisis permitió explorar el estado actual de la investigación sobre la integración de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional, identificando tendencias, vacíos y líneas emergentes en el ámbito de la educación científica para seleccionar los recursos y medios con respaldo científico para incorporarlo en la secuencia. Los resultados de este estudio han sido publicados en Revista Eureka sobre Enseñanza

y Divulgación de las Ciencias (Publicación 3), conformando uno de los artículos obligatorios del compendio.

Ambas líneas confluyen en una abrumadora conclusión compartida: la necesidad de diseñar una situación de aprendizaje interdisciplinar e innovadora que, desde un enfoque STEAM, articule los tres enfoques metodológicos mencionados para abordar un contexto real y significativo (el río Tinto como patrimonio controversial) y como vías idóneas para fomentar el pensamiento crítico del alumnado. De esta forma, no solo se delimita el foco de la investigación y objetivos, sino también se justifica la relevancia y viabilidad de llevar a cabo una secuencia, identificando la oportunidad de intervención en un contexto educativo real.

3.2.2 Fase 2. Planificación

En esta etapa se traducen las reflexiones iniciales en un diseño estructurado y viable, y se redefine el problema de investigación a la luz del conocimiento generado en la fase exploratoria. De igual forma, se toman decisiones clave sobre el enfoque metodológico, el contexto de estudio, los sujetos o unidades a explorar, la estrategia de intervención y la estrategia de obtención de información a utilizar (Bisquerra, 2004).

En el marco de esta tesis doctoral, esta fase se ha centrado en:

- La selección del escenario de investigación recae en un grupo de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria de un centro concertado de Educación Infantil, Primaria y Secundaria, situado en Valverde del Camino, municipio de la provincia de Huelva. Dentro del contexto de una propuesta interdisciplinar centrada en el río Tinto como patrimonio controversial. Valverde del Camino es una localidad situada en la comarca onubense del Andévalo en la cual la repercusión de la actividad minera, de los cambios sociales y culturales en la Cuenca Minera y de las investigaciones y modificaciones en el río Tinto y su entorno es notable. Por ello, además de por la accesibilidad y disponibilidad del equipo docente del centro educativo, este contexto es idóneo para realizar un acercamiento educativo interdisciplinar al río Tinto, ya que el propio centro que se encuentra a menos de 5 kilómetros de este. Esto permitió llevar a cabo una investigación para analizar un entorno real natural y cercano al alumnado.
- La definición de la estrategia de investigación combina un estudio de caso con orientación de investigación-acción y enfoque multimétodo. Esta decisión metodológica fue consensuada y fundamentada a partir del conocimiento

generado en la fase anterior, en especial a través del análisis bibliométrico (Publicación 3) y el artículo sobre la integración metodológica de indagación, modelización y pensamiento computacional (Publicación 2).

- La elaboración y planificación de la situación de aprendizaje, concebida como el dispositivo metodológico central del estudio (Bisquerra, 2004), consistió en integrar los tres enfoques didácticos previamente identificados (indagación, modelización y pensamiento computacional), con el objetivo de trabajar contenidos científicos, históricos y sociales desde una perspectiva crítica, conectados con el entorno y el análisis patrimonial. Esta planificación ha sido descrita y ejemplificada en tres capítulos de libro dedicados, respectivamente, a los contenidos de Biología y Geología (Publicación 4), Física y Química (Publicación 5) y Geografía e Historia (Publicación 6).

Con la finalidad de facilitar la comprensión del proceso seguido y de ofrecer una visión integrada del diseño implementado y analizado, se presenta el siguiente esquema (figura 26), que sintetiza la estrategia tomada y las decisiones metodológicas adoptadas en esta investigación, así como su vinculación con el diseño de la situación de aprendizaje:

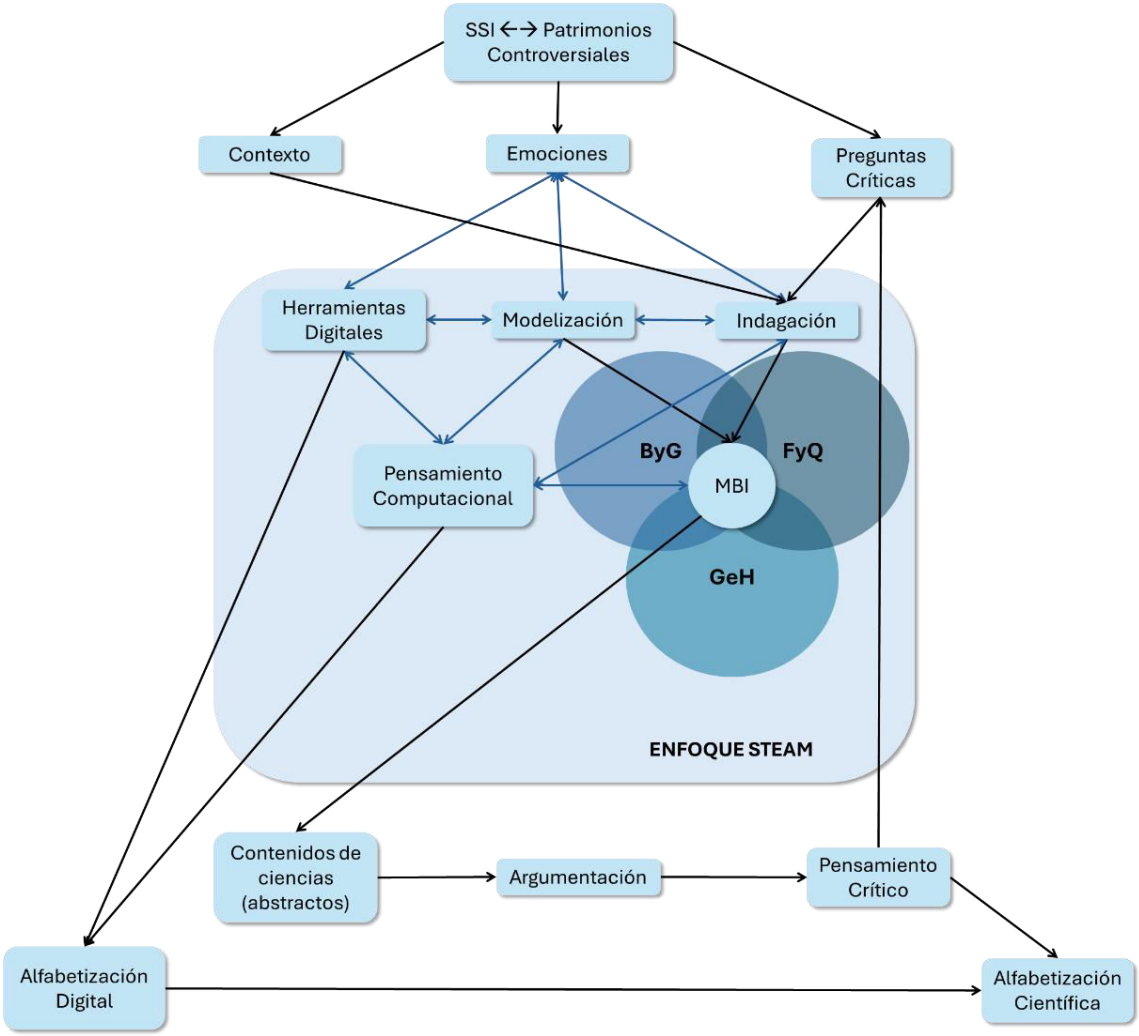


Figura 26. Esquema de planificación metodológica general del estudio. Fuente: elaboración propia

En este esquema se presenta como punto de partida el problema socio-científico (SSI), en este caso, ligado a un patrimonio controversial (o viceversa). En nuestro caso, todo partió de una controversia socio-científica ligada a dos posturas científicas enfrentadas. Estas, correspondían a dos equipos de investigación en el cual uno de ellos defendían que las características fisicoquímicas del río eran principalmente debido a la actividad antrópica ligada a la minería, mientras la otra restaba importancia a la componente antrópica y defendía que la situación actual del río se debe a la actividad bacteriana que lleva desarrollando y condicionando las de investigadores enfrentadas presenta el problema socio-científico (SSI) Del mismo modo, durante esta fase también se diseñaron y validaron los instrumentos de recogida de datos, tanto de primer orden (cuestionarios de ideas previas, cuestionarios de emociones académicas) así como el diseño de un cuaderno de campo. Del mismo modo, se diseñaron instrumentos de segundo orden (sistemas de categorías y rúbricas de análisis).

Es importante poner de manifiesto que durante esta fase se concretaron también las cuestiones éticas y logísticas vinculadas al desarrollo del estudio, como la solicitud de permisos para la intervención del centro y la toma de datos (Anexo 1), y fue donde se negociaron el calendario de intervención, así como la relación con el profesorado participante el cual formó parte no sólo en la implementación de la situación de aprendizaje, sino también participó en el diseño de esta. Todo ello se preparó para facilitar la entrada al escenario y garantizar una implementación adecuada.

3.2.3 Fase 3. Entrada al escenario e inicio del estudio

En este punto, se concretan las condiciones de acceso, se establecen los vínculos con los participantes y se definen con mayor claridad los roles que asumirá el investigador en el escenario educativo (Latorre, 2005). La fase de entrada al escenario e inicio del estudio marca el momento de transición entre la planificación y la puesta en marcha de la investigación en el contexto real, que tuvo lugar durante dos semanas en las asignaturas de Biología y Geología, Física y Química y Geografía e Historia.

En esta tesis, esta fase se desarrolló durante el inicio del curso académico en el que se implementó la situación de aprendizaje en un grupo de 4º de ESO. Las acciones principales que se llevaron a cabo fueron:

- La selección intencionada de los participantes se llevó a cabo atendiendo a criterios de relevancia y viabilidad a consideración por parte del propio tutor del curso. El grupo fue elegido por ser representativo del nivel educativo al que va dirigida la propuesta puesto que todos los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales del currículo de 4º de ESO se alineaban con los contenidos que íbamos a trabajar en el río Tinto y su entorno.
- En la definición de los papeles del investigador, que combinó funciones de diseño, coordinación e implementación, el rol asumido fue el de investigador participante (Stake, 1995), lo que permitió observar de manera directa el desarrollo de la experiencia educativa, sin dejar de mantener la necesaria distancia analítica para el tratamiento riguroso de los datos.
- El diseño final del cronograma y los procedimientos de intervención, que incluyó la planificación detallada de cada una de las sesiones, la distribución de tareas, el uso de tecnologías como los sensores programables o el cuaderno de campo, y la preparación de los espacios para el debate y la exposición de resultados. Este

diseño se recoge en distintas publicaciones (en especial las publicaciones 4, 5 y 6 del compendio), donde se detallan las actividades y contenidos trabajados.

De esta forma, se hizo especialmente relevante la labor de documentación, mediante el registro audiovisual del desarrollo del proyecto, las observaciones sistemáticas de aula, y la preparación de los cuestionarios y cuadernos de campo. Estos instrumentos serían fundamentales en la siguiente etapa, dedicada a la recogida y análisis de la información.

3.2.4 Fase 4. Recogida y análisis de la información

La cuarta fase del proceso se caracteriza por la implementación de una diversidad de técnicas e instrumentos que permiten aproximarse a la complejidad del fenómeno estudiado desde múltiples ángulos y, además, se corresponde al momento central del trabajo de campo, donde se lleva a cabo la recogida sistemática de los datos y su análisis preliminar, siguiendo los principios de rigor y coherencia propios de este tipo de investigación (Latorre, 2005).

En lo que respecta a esta tesis doctoral, las estrategias empleadas para la recogida de información se diseñaron en consonancia con los objetivos específicos y las características de la situación de aprendizaje implementada, garantizando la adecuación entre lo que se pretende conocer y los instrumentos utilizados. En concreto, se integraron los siguientes recursos:

- Cuestionarios abiertos, aplicados en tres momentos clave (inicio, desarrollo y finalización de la secuencia), con el objetivo de captar concepciones iniciales, emociones académicas, valoraciones sobre los contenidos y experiencias vividas por el alumnado. Estos datos fueron fundamentales para los análisis recogidos en las publicaciones 10 y 11, centradas en las emociones académicas y la argumentación.
- Cuadernos de campo del alumnado, utilizados como herramienta longitudinal de registro, permitiendo documentar la evolución de sus aprendizajes, su posicionamiento frente al patrimonio controversial y su vínculo afectivo con el entorno del río Tinto. El análisis de estos materiales resultó clave para el desarrollo de las publicaciones 6, 7, 10 y 11
- Registros videográficos y audios del debate final, que ofrecieron una fuente rica de información para el análisis del pensamiento crítico del alumnado. A través del modelo TAP (Toulmin Argumentation Pattern) y de las habilidades de pensamiento

crítico propuestas por Facione, se codificaron e interpretaron los argumentos, refutaciones y justificaciones empleadas. Este trabajo sustenta de forma directa la publicación 11, centrada en el desarrollo argumentativo y crítico.

- Análisis de las producciones del alumnado, incluyendo maquetas, informes científicos, presentaciones digitales, exposiciones orales, podcast y páginas web, considerados como artefactos de aprendizaje que permiten inferir niveles de comprensión, creatividad, apropiación del conocimiento y desempeño competencial. Estas evidencias se analizaron de forma específica en la publicación 7 (en relación con la modelización y el pensamiento computacional) y la publicación 5 (relativa al uso de sensores y programación).

En este proceso, se utilizaron instrumentos de segundo orden, como el sistema de categorías diseñado ad hoc, que facilitó la interpretación rigurosa y fundamentada de las evidencias (en especial para los objetivos O.E.5, O.E.6 y O.E.7). Además, al análisis cualitativo se incorporaron técnicas cuantitativas complementarias, como la estadística descriptiva, que permitió representar frecuencias de emociones académicas además de patrones argumentativos. Todo ello, con la finalidad de recoger evidencias sobre competencias digitales, comprensión científico-tecnológica, pensamiento crítico y alfabetización científica integral del alumnado.

3.2.5 Fase 5. Retirada del escenario

En el marco de una investigación cualitativa sociocrítica como la que aquí se desarrolla, este proceso no se entiende como un corte brusco, sino como una transición consciente y respetuosa con el entorno y las personas participantes (Latorre, 2005). Esta fase supuso el cierre formal del trabajo de campo y, con ello, la salida del contexto educativo. A los docentes implicados, y se les informó de que, si en algún momento fuera necesario, se podría volver a contactar con ellos para aclaraciones o ampliación de datos, algo que finalmente no fue necesario.

Durante esta última fase, se llevaron a cabo algunas de las actividades más significativas de todo el proceso. En primer lugar, el alumnado analizó y comparó los datos fisicoquímicos recogidos en el río Tinto con los análisis realizados posteriormente en las instalaciones profesionales de la Universidad de Huelva (así como la obtención de algunos parámetros que no se pudieron medir debido a limitaciones del alto coste que supone parte específica del equipamiento), lo que permitió reforzar el rigor y la dimensión científica del trabajo realizado. Además, como actividad final, grabaron un podcast divulgativo en el que

resumieron de forma creativa todo el proceso de investigación: la salida de campo, la programación de sensores, los aprendizajes adquiridos científicos e históricos y el debate desarrollado en torno al patrimonio controversial. Este podcast fue presentado a un concurso nacional de proyectos educativos, convirtiéndose en una vía de difusión bastante motivadora del proyecto más allá del aula. Buena parte de este trabajo se refleja en las publicaciones 4, 5, 6, 7, 10 y 11 del compendio.

3.2.6 Fase 6. Elaboración del informe

La última fase del proceso investigativo ha estado orientada a la elaboración del informe final, concebido no solo como una compilación de resultados, sino como un ejercicio de síntesis reflexiva y de construcción de sentido en torno al trabajo desarrollado (Bisquerra, 2004). Este momento supone articular teoría, práctica y análisis para narrar de forma coherente la experiencia vivida y el conocimiento generado (Stake, 1995; Martínez-Miguélez, 2007).

En este sentido, el informe final se ha estructurado como un compendio de publicaciones científicas que integra once productos académicos de distinta naturaleza (artículos, capítulos de libro, comunicaciones y pósteres), articulados en torno a los objetivos específicos de la investigación. Esta estrategia ha permitido presentar y articular los hallazgos de manera segmentada pero coherente, adaptándolos a distintos niveles de análisis y públicos destinatarios, siguiendo de esta forma las recomendaciones sobre buenas prácticas en investigación. La organización del compendio responde a una lógica metodológica que vincula cada producción con una de las tres fases generales del estudio (diagnóstico, implementación y análisis), lo que ha favorecido tanto la claridad expositiva como la transferencia del conocimiento generado en contextos reales de aula.

3.3 Informantes

La situación de aprendizaje se implementó en un grupo de 4º de Educación Secundaria Obligatoria perteneciente a colegio María Auxiliadora – Salesianas, un centro concertado de Educación Infantil, Primaria y Secundaria ubicado en Valverde del Camino (Huelva), compuesto por 27 estudiantes de entre 15 y 16 años.

La selección del grupo participante fue intencionada y se llevó a cabo en coordinación con el tutor y el profesorado del curso, atendiendo a criterios de viabilidad y adecuación de los contenidos trabajados. El grupo resultaba especialmente pertinente por la alineación entre el currículo de 4º de ESO y los saberes científicos, históricos y

medioambientales vinculados al río Tinto que iban a trabajarse. Además, el propio contexto de Valverde del Camino, ubicada en la zona del Andévalo onubense, está caracterizado por ser una localidad marcada por la actividad minera y las transformaciones asociadas a la misma y, además, es una localidad ubicada a escasos kilómetros del río. Esto supondría trabajar en un entorno significativo y evocador sentimientos de pertenencia identitarios para desarrollar una propuesta educativa interdisciplinar orientada al análisis de un patrimonio controversial.

3.4 Descripción del contexto

El presente estudio de caso se sitúa en el suroeste peninsular, en torno al río Tinto, un ecosistema fluvial tan extraordinario como polémico por su color rojo, características fisicoquímicas y las escasas formas de vida desarrolladas que viven dentro y fuera de sus aguas. Este río nace en la Sierra de Padre Caro (provincia de Huelva, España) y desemboca en el estuario de la ciudad de Huelva, junto al océano Atlántico. La elección del río Tinto como eje del estudio responde, por tanto, a su condición de patrimonio controversial, en tanto objeto de disputa científica, medioambiental, ideológica y social, lo que favorece el abordaje de obstáculos vinculadas a dimensiones ideológicas, políticas, económicas y medioambientales, ofreciendo al alumnado la oportunidad de construir sus propios juicios y desarrollar una mirada crítica sobre su entorno (Arroyo-Mora et al., 2022).

Este río se enmarca dentro de la formación geológica conocida como la Faja Pirítica Ibérica, una de las regiones metalogénicas más importantes del mundo, caracterizada por una intensa concentración de sulfuros masivos polimetálicos, fundamentalmente pirita, calcopirita y galena (Delgado-Domínguez, 2020). Estos materiales han conferido al río su singular acidez, con valores de pH por debajo de 3 y elevadas concentraciones de metales pesados, responsables de la coloración rojiza de sus aguas (figura 27).



Figura 27. Composición de imágenes del río Tinto. A la izquierda una foto realizara en la cabecera del río cerca de su nacimiento, a la derecha, el río Tinto en una imagen tomada en su tramo intermedio. Fuente: Elaboración propia.

Las primeras evidencias de actividad minera en la zona se remontan a la Edad del Cobre, siendo sucesivamente explotada por tartesos, fenicios, romanos, visigodos e islámicos, aunque es con la llegada de la Rio Tinto Company Limited en 1873 cuando se produce la transformación más intensa del paisaje natural, social y económico del entorno. La compañía británica implementó un modelo colonial de extracción y gestión del territorio que alteró profundamente tanto la fisonomía del medio como la estructura urbana y social del municipio. Como señala Rodríguez-Marín (2007), la ciudad de Riotinto replicó procesos coloniales, generando una clara jerarquía entre la élite británica y la población local, lo que se refleja en su arquitectura, en los espacios de ocio y en la segregación social y laboral. La construcción del Barrio de Bellavista, del Club Inglés y la infraestructura minera respondían a esta lógica de dominio y apropiación cultural.

En reconocimiento a su carácter único, el río y su entorno fueron declarados Paisaje Protegido por la Junta de Andalucía mediante el Decreto 558/2004 de 14 de diciembre, dada la excepcionalidad de su ecosistema, tanto desde el punto de vista geológico como ecológico. A pesar de su extrema acidez y toxicidad, el río alberga formas de vida adaptadas a estas condiciones, como bacterias quimiolitótrofas, hongos y la *Erica andevalensis*, un brezo endémico de suelos metalíferos. Esta biodiversidad extrema ha convertido al río en un laboratorio natural de referencia para investigaciones astrobiológicas, especialmente por parte del Centro de Astrobiología (CAB-CSIC-INTA) y la NASA, en el marco del Life-Detection Mars Analog Project (Sánchez-García et al., 2020).

Desde el área de Biología y Geología, la controversia se formuló en torno a la pregunta "¿Hay vida en el río Tinto?", lo que permitió al alumnado conocer en profundidad el ecosistema a nivel geológico y biológico, además de confrontar posturas científicas enfrentadas: mientras unos estudios sostienen que la acidez y los metales provienen fundamentalmente de procesos biogénicos naturales desarrollados durante millones de años (Gómez-Ortiz et al., 2014), otros estudios (Nieto y Olías, 2021; Olías y Nieto, 2014), defienden que la principal causa del estado actual del río es antrópica, debida a la minería intensiva de los siglos XIX y XX.

Desde el área de Física y Química, la propuesta se estructuró en torno a la pregunta "¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?", abordando la problemática medioambiental ligada al drenaje ácido de minas (DAM) y a la presencia de elementos como arsénico, cadmio o plomo, que afectan gravemente a los ecosistemas fluviales y marinos, especialmente al estuario de Huelva. Estos elementos tóxicos se disuelven en el agua como resultado de un intenso proceso de oxidación de sulfuros metálicos (como la pirita) en contacto con el oxígeno y el agua, lo que genera ácido sulfúrico y acentúa la acidez del medio. En este sentido, se discutieron los conflictos derivados de conservar un entorno único y patrimonial o intervenir para su restauración. La postura contraria a su protección argumenta que "la mejor opción sería descontaminarlo en aras de evitar sus aportes de metales pesados al estuario de Huelva y al océano Atlántico, y así mejorar las condiciones ambientales de los ecosistemas fluviales como demanda la Directiva del Marco del Agua de la Unión Europea (Directive 2000/60/EC of the European Parliament)"

Desde la perspectiva de Geografía e Historia, se propuso la subpregunta "¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo el río Tinto y su entorno?", integrando el análisis del patrimonio industrial, natural y cultural de la zona con las transformaciones sociales ligadas a la minería. Las actividades desarrolladas permitieron al alumnado reflexionar sobre los inicios de la revolución industrial de la comarca, la lucha de clases, la configuración de un territorio semicolonizado y las relaciones de género. Se prestó especial atención al papel de la mujer en la sociedad minera del siglo XIX y principios del XX, su invisibilización histórica y las jerarquías derivadas de la división sexual del trabajo, abordadas en actividades como la yincana patrimonial o el análisis de fuentes primarias.

3.5 Instrumentos de la investigación

En este apartado se detallan los diferentes instrumentos empleados para la recogida y análisis de la información. Estos instrumentos se han clasificado en dos niveles

según su función y naturaleza: instrumentos de primer orden, orientados a recoger directamente las producciones del alumnado, e instrumentos de segundo orden, empleados para complementar, organizar o interpretar dichas producciones desde una perspectiva analítica y reflexiva (Stake, 1995).

3.5.1 Instrumentos de primer orden

Para la recogida de información se han usado diferentes instrumentos entre los que destacan cinco:

- Cuestionario de ideas previas: aplicado al inicio de la intervención para explorar las concepciones alternativas iniciales del alumnado sobre el patrimonio, el entorno del río Tinto, las controversias ambientales, y conceptos científico-tecnológicos implicados. Este cuestionario fue diseñado y validado para este proyecto por un grupo de expertos y consta de preguntas e imágenes asociadas al río Tinto y su entorno a nivel histórico, biológico, y geoquímico y que puede consultarse de forma completa en el ANEXO 2.
- Cuestionario de emociones académicas: Este instrumento fue diseñado y validado por un grupo de expertos específicamente para la publicación 11, y puede consultarse en el ANEXO 3. Durante su proceso de validación, se obtuvo un coeficiente kappa de Leiss de 0.84, lo que garantiza una alta fiabilidad interevaluador y refuerza la robustez metodológica del análisis cualitativo posterior. El cuestionario incluía 13 emociones académicas, seleccionadas a partir de los estudios de Pekrun y Linnenbrink-García (2014) y Pérez-Bueno et al. (2024), quienes analizaron la influencia de las emociones en el aprendizaje. La mayoría de las emociones consideradas (como la ansiedad, la curiosidad, el disfrute, la frustración, el orgullo, la sorpresa o la vergüenza) coinciden con las tipologías propuestas en dichos trabajos. Asimismo, se realizaron ajustes terminológicos, como la sustitución de "rechazo" por "asco" y de "interés" por "curiosidad", con el objetivo de mejorar la precisión conceptual y su adecuación al contexto de la investigación.
- Cuaderno de campo: instrumento destacado utilizado durante la salida al entorno natural del río Tinto, en el que los estudiantes hicieron una recolección de evidencias, descripciones, respondieron preguntas acerca del contexto social y patrimonial desde una perspectiva histórica, así como las relaciones de género en el siglo XIX. Además, registraron observaciones, datos recogidos con sensores,

emociones suscitadas y reflexiones personales sobre el trabajo de campo. Este instrumento puede observarse de forma completa en el ANEXO 4.

- Producciones del alumnado: A pesar de que el cuaderno de campo es una producción del alumnado en sí misma, aquí se incluyen de forma separada diversos productos finales generados a lo largo de la secuencia, como podcasts, maquetas, páginas web colaborativas como cuadernos de investigación de clase, y presentaciones multimedia de las cuales se presentan evidencias en el ANEXO 7.
- Grabaciones audiovisuales: Las transcripciones de las videograbaciones llevadas a cabo se centraron en el debate desarrollado como actividad de cierre. El debate se tituló “Al río rojo vivo” y se trata de un espacio argumentativo estructurado en bloques y roles pactados entre el alumnado en torno a una controversia sobre la restauración ambiental del río Tinto, que permitió enfrentar posturas e ideas para poder evaluar el pensamiento crítico y la capacidad argumentativa del alumnado.

3.5.2 Instrumentos de segundo orden

Para el tratamiento y análisis de la información se presentan algunos de los instrumentos de segundo orden que trabajados y diseñados en esta tesis doctoral:

- Sistema de categorías: se trata de un instrumento de análisis cualitativo útil para organizar y analizar los resultados que atraviesan transversalmente toda la secuencia, permitiendo clasificar los datos desde formulaciones básicas, sin interacciones entre elementos, hasta niveles más elaborados considerados como óptimos o preferibles (Martín-Cáceres y Cuenca-López, 2016). Este instrumento nace de las necesidades de la propuesta didáctica y está construido a partir de los marcos teóricos de los proyectos EPITEC y EPITEC2, de los estándares de competencia digital (ISTE, 2018; ISTE y CSTA, 2011) y de los datos recogidos en la fundamentación teórica de esta tesis, así como de los currículos españoles (Junta de Andalucía, 2023; Real Decreto 217/2022), que ha permitido categorizar las evidencias relacionadas con emociones académicas, pensamiento crítico y dimensiones de la alfabetización científica. Este puede consultarse de forma completa en el ANEXO 8.
- Instrumento de análisis del debate (TAP-Facione): instrumento de segundo orden diseñado para analizar las argumentaciones del alumnado según el modelo de Toulmin y las habilidades de pensamiento crítico propuestas por Facione. Este

modelo se encuentra en la publicación 11 y permitió asociar componentes argumentativos definidos por Toulmin con las habilidades del pensamiento crítico definidas por Facione, significando una forma operativa de conocer qué habilidades de pensamiento crítico se manifiestan en función a los diferentes niveles de argumentación que manifiestan en el debate.

- Rúbrica de evaluación de competencias digitales: ha sido diseñada en base a los estándares ISTE (*International Society for Technology in Education*), lo que ha permitido valorar de forma sistemática las habilidades digitales desarrolladas por el alumnado a lo largo de la secuencia, además de convertirse en un elemento clave en la construcción del sistema de categorías. Estos estándares ofrecen un marco actualizado que va más allá del dominio técnico, promoviendo competencias digitales, creativas y críticas. Esta tabla está presentada y fundamentada en el capítulo 2 correspondiente al marco teórico, dentro del apartado 2.4., además de haberse utilizado en la publicación 9.
- Jerarquización de emociones académicas: propuesta por Pérez-Bueno et al. (2024), ha sido utilizada para categorizar y comprender las emociones suscitadas en las aulas de ciencias. Esta herramienta se complementó la tabla de Categorización de emociones académicas que se describe a continuación. Este instrumento se ubica en la publicación 10 y permite organizar las emociones académicas en cuatro tipos fundamentales: de logro, epistémicas, sociales y temáticas, en línea y fundamentada con los trabajos de referencia de Pekrun y Linnenbrink-García (2012).
- Categorización de emociones académicas: Esta tabla, presente en la publicación 10, se elaboró a partir de los estudios de Pekrun y Linnenbrink-Garcia, (2012) y Pérez-Bueno et al., (2024) para complementarse con la Jerarquización de emociones académicas descrita anteriormente y así ayudar a delimitar y caracterizar las emociones expuestas por el alumnado.

Esta combinación de instrumentos ha permitido triangular los datos y realizar un análisis en profundidad que considera tanto las manifestaciones explícitas del alumnado como las interpretaciones derivadas de marcos teóricos y del contexto de implementación.

CAPÍTULO IV. COMPENDIO DE PUBLICACIONES

4.1. Justificación de las publicaciones

Las publicaciones seleccionadas para conformar el compendio de esta tesis doctoral responden a una lógica coherente y progresiva que se alinea con las fases metodológicas del estudio, los objetivos específicos definidos, además de con la naturaleza del diseño cualitativo sociocrítico desarrollado. En este apartado se incluyen las 3 publicaciones indexadas en revistas de impacto que son obligatorias para la defensa de una tesis por compendio de publicaciones y que en esta tesis doctoral se corresponden con la publicaciones 2, 3 y 7. Cada una de estas producciones ha sido incluida en función de su contribución a la construcción y análisis del caso, atendiendo principalmente a criterios tanto de pertinencia científica como de relevancia temática y grado de profundización teórico-metodológica. En conjunto, las once publicaciones permiten dar cuenta del proceso investigativo en su totalidad, articulando la fundamentación conceptual, el diseño e implementación de la situación de aprendizaje, el análisis de los datos y la interpretación de los resultados vinculados a aspectos como el pensamiento computacional, la argumentación, las emociones académicas y la enseñanza del patrimonio desde una mirada crítica e interdisciplinar.

Este apartado se estructura siguiendo el mismo orden que las fases descritas en el marco metodológico: diagnóstico y fundamentación, diseño e implementación, y análisis e interpretación. A lo largo de las próximas páginas se describirá de forma sintética el contenido, la aportación y la ubicación de cada publicación dentro del proceso investigativo global, justificando su elección en el conjunto del compendio:

- Publicación 1. *Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y de las Heras-Pérez, M. Á. (2022). Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y resolución de problemas en las aulas de ciencias. Comunicación presentada en el 30EDCE.*

Esta primera publicación se enmarca en la fase inicial de la tesis, vinculada al diagnóstico y la fundamentación teórica. Presentada en los 30 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales organizados en Melilla, esta comunicación ha querido tenerse en cuenta porque se erige como una primera reflexión sobre el potencial de combinar enfoques metodológicos clave (indagación, modelización y pensamiento computacional) en el ámbito de las ciencias experimentales, que posteriormente se ampliaría dando pie al primer artículo

obligatorio del compendio y que se muestra a continuación. A través del análisis de propuestas didácticas existentes, se pone el foco en las oportunidades que ofrece su integración para favorecer una enseñanza más conectada con el entorno y con un enfoque crítico. Además, se identifican obstáculos y desafíos vinculados a su aplicación simultánea en el aula, lo cual permite justificar la necesidad de articular estas metodologías en torno a situaciones de aprendizaje contextualizadas. Esta aportación tiene un valor fundacional para el resto del estudio, al significar el punto de partida del proceso de investigación y al sentar las bases conceptuales de la investigación y orientar las decisiones didácticas que estructuran la propuesta.

- Publicación 2. *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

Este artículo se enmarca en la fase inicial de la investigación y tiene como finalidad sentar gran parte de las bases teórico-metodológicas de la tesis mediante un análisis documental de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional. Se trata del primer artículo obligatorio del compendio en el que, a través de una revisión de literatura y referencias curriculares nacionales e internacionales, se analiza el potencial educativo de cada uno de estos enfoques y, especialmente, delimitando sus características, componentes y puntos en común, así como las posibilidades que ofrecería su implementación conjunta en las aulas de ciencias. El artículo plantea que la integración de estas metodologías y es que, lejos de tratarse de propuestas aisladas o incompatibles, podría potenciar el desarrollo del pensamiento crítico, la alfabetización científica y la capacidad del alumnado para abordar problemas complejos. En este sentido, constituye un aporte fundamental para el diseño posterior de la situación de aprendizaje y que ha servido para vertebrar esta tesis doctoral.

- Publicación 3. *Campina-López, A., Lorca-Marín, A. A. y De las Heras Pérez, M. Á. (2024). Indagación, modelización y pensamiento computacional: un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 21(1), 1102.* https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102

Esta tercera publicación se corresponde con el segundo artículo obligatorio del compendio y se enmarca en la fase inicial de fundamentación teórica del estudio. A través de un análisis bibliométrico, la contribución ofrece una panorámica del estado actual de la literatura científica relacionada con la implementación conjunta de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional en el ámbito de la enseñanza de las ciencias. Utilizando la herramienta Bibliometrix mediante su interfaz Biblioshiny, se identifican tendencias temáticas, autores más influyentes, así como las características que justifican la necesidad de estudios aplicados en esta línea. Entre los principales hallazgos destaca la escasa presencia de propuestas didácticas que integren de forma coherente estos tres enfoques, así como la falta de concreción metodológica en su enseñanza. Asimismo, se constata que una de las prácticas más extendidas para el desarrollo del pensamiento computacional y la competencia digital en el aula es la programación por bloques, al ser una estrategia accesible y versátil para estudiantes de etapas iniciales. Esta evidencia refuerza la pertinencia del enfoque metodológico adoptado en la tesis, y respalda la necesidad de generar propuestas educativas contextualizadas que combinen estos enfoques de forma integrada.

- Publicación 4. *Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., 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 (cap. 5). Ediciones Octaedro.* http://doi.org/10.36006/09692-1

Este capítulo corresponde con el segundo de los tres que componen la secuencia. Aquí se incluye la segunda parte del sistema de categorías que se articula, entre otros aspectos, con metodologías activas y el desarrollo del pensamiento computacional aplicado a contextos reales. El capítulo se enmarca en la implementación de la situación de aprendizaje y su secuencia de actividades poniendo el foco en la Física y Química, para responder el papel e importancia que tienen los procesos fisicoquímicos que acontecen en el río y su entorno fruto de la actividad antrópica y natural, tanto en el centro de interés, como en otros contextos que forman parte de la vida cotidiana del alumnado. Además de articularse con las actividades nombradas en el capítulo anterior, aquí se pone especial atención en la programación, construcción y uso de sensores con placas microcontroladoras Micro:bit para medir *in situ* parámetros fisicoquímicos como el pH, la temperatura, total de sólidos disueltos (TDS) o la turbidez. Sumando el trabajo experimental y basado en sensores, se plantea una mirada

crítica sobre los procesos de oxidación responsables de la acidez del río y la caracterización del ecosistema, atendiendo en especial a la comprensión de contenidos abstractos de la ciencia como es el pH, a través del diseño y construcción de una maqueta como modelo de la cabecera del río, usando muestras de aguas tomadas del cauce principal y sus primeros afluentes.

A partir de ello, se aborda la problemática ambiental generada por el drenaje ácido de minas y sus consecuencias en el estuario de Huelva, poniendo sobre la mesa el debate entre conservar o restaurar el ecosistema fluvial, y confrontando así sentimientos identitarios con este patrimonio natural y científico concienciado, por un lado, con la protección de su singularidad e interés para la ciencia y, por otro, con la recuperación de un entorno natural altamente contaminado, limitante para la vida y para la gestión de sus aguas caracterizada con altos niveles de acidez y de alta concentración en metales pesados.

- Publicación 5. *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 (cap. 6). Ediciones Octaedro.* http://doi.org/10.36006/09692-1

Esta publicación es la primera de tres capítulos de libro conectados entre sí. Se enmarca en la fase de diseño e implementación de la situación de aprendizaje correspondiente al área de Biología y Geología, centrándose en la pregunta de investigación "¿Cómo es el río Tinto y su entorno?", y permite abordar el ecosistema del río desde una perspectiva integrada que combina contenidos de biología, geología y patrimonio.

El capítulo expone una secuencia didáctica interdisciplinar que, en este capítulo, está centrada en los contenidos de Biología y Geología, exponiéndose, además, la primera parte del sistema de categorías. En la secuencia presentada, se explica cómo se articularon uso de herramientas digitales como *Google Maps*, diseño de espacios webs colaborativos donde recopilar información, salidas de campo, análisis de ecosistemas, trabajo con sensores, modelización de una maqueta, un debate estructurado, exposiciones orales en centros universitarios y la elaboración de un podcast divulgativo como medios de difusión de la investigación. Se abordan fenómenos como la vida extremófila y la acidez del agua asociada a la mineralogía, así como su origen además de la historia geológica del río Tinto en el contexto de la Faja Pirítica Ibérica con el objetivo de caracterizar al río Tinto y su entorno desde una

perspectiva bio-geológica. La propuesta combina metodologías activas como la indagación, la modelización y el pensamiento computacional, integrando herramientas digitales y cuadernos de campo como herramientas de investigación. Desde esta perspectiva, se fomenta una alfabetización científica crítica y una conciencia ecosocial vinculada al análisis patrimonial del entorno.

- Publicación 6. *Campina-López, A. C., Arroyo, E., y Sampedro-Martín, S. (2025). ¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo 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 (cap. 7). Ediciones Octaedro.* http://doi.org/10.36006/09692-1

Este tercer y último capítulo del bloque de publicaciones dedicadas a la implementación aborda la propuesta desde el área de Geografía e Historia, presentando la tercera parte del sistema de categorías y completando así el diseño interdisciplinar de la propuesta y su secuencia. Desde una mirada histórico-patrimonial y crítica, se analiza la transformación del territorio de Minas de Riotinto, prestando especial atención al impacto que tuvo la llegada, en el siglo XIX, de la compañía británica Río Tinto Company Limited en la configuración económica, ambiental, cultural y social de la zona. A través de un proceso indagatorio, se realiza el análisis de fuentes históricas como fotografías antiguas, extractos documentales, restos materiales o testimonios locales. Esta información fue recopilada en cuadernos de campo y en espacios webs colaborativos construidos por el alumnado, con la finalidad de no sólo reconstruir cómo era y cómo ha evolucionado el río Tinto y su entorno, sino también identificar dinámicas de jerarquía de clase, desigualdad de género y aprender contenidos históricos ligados a los inicios de la revolución industrial en la zona.

Este capítulo es relevante porque manifiesta la importancia trabajar desde un enfoque STEAM articulado con las ciencias sociales, permitiendo al alumnado desarrollar una comprensión profunda de los procesos científicos e históricos y su conexión con el presente y promoviendo, del mismo modo, una visión crítica, situada y geográficamente contextualizada. Para ello, la secuencia didáctica incluye actividades de indagación histórica, el uso de cuadernos de campo, una salida de campo en la que, mediante el uso de redes sociales, el alumnado etiqueta y categoriza elementos patrimoniales con el objetivo de reinterpretar su valor cultural, además de la realización de una *gymkana* (Anexo VI) histórica y patrimonial. El proceso culmina en un debate final que articula los contenidos sociales

trabajados en este capítulo con los contenidos científicos abordados en las otras áreas, potenciando así la integración del pensamiento histórico, científico y crítico.

- Publicación 7. *Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á. & Bosnjak-Stepanovic, 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

Esta publicación se sitúa en la fase de diseño e implementación de la secuencia didáctica y describe en profundidad una experiencia educativa basada en la enseñanza del concepto de pH y su escala logarítmica en Educación Secundaria, enmarcada en el contexto del río Tinto. La propuesta combina de forma integrada la indagación, modelización y pensamiento computacional, que vertebran toda la secuencia. En aras de fomentar la competencia digital, y alinearse con el Plan Nacional de Competencias Digitales en España (PNCD, 2025), los estudiantes construyen y programan sus propias herramientas de medición a través de placas Micro Bit y sensores de pH, y diseñan una maqueta física del nacimiento del río Tinto para experimentar con mezclas de aguas tomadas *in situ* y observar los cambios de concentraciones pH y pOH. Es de especial mención que este artículo contó con la coautoría adicional de la doctora Marija Bosnjak-Stepanovic, con la que se investigó y colaboró durante la estancia internacional realizada en Serbia.

A través de esta experiencia, se abordan concepciones alternativas sobre el pH, se trabajan habilidades digitales y se potencia el pensamiento crítico ante un patrimonio natural controversial. De esta forma, este artículo expone una secuencia que permite al alumnado interactuar con un fenómeno real, además de aplicar conocimientos científicos, manejar datos, programar y construir artefactos, al tiempo que reflexionan sobre los dilemas medioambientales, sociales y patrimoniales vinculados al río. El artículo incluye un análisis DAFO construido a partir de los cuadernos de campo del alumnado y ofrece las debilidades y limitaciones, así como evidencias del potencial didáctico de integrar metodologías activas en torno a contextos reales con fuerte carga socioambiental.

- Publicación 8. *Campina-López, A. C., Arroyo Mora, E., y Sampedro-Martín, S. (en prensa). Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria. VI Congreso Internacional de Educación Patrimonial (CIEP6), Madrid. Ministerio de Cultura.*

Este póster académico, presentado en el VI Congreso Internacional de Educación Patrimonial, expone de forma de forma completa y sintética el diseño e implementación de la secuencia didáctica interdisciplinar centrada en el río Tinto como patrimonio controversial. En él se describen las principales fases de trabajo con el alumnado, integrando diversas tareas como el análisis del entorno geológico, la construcción de maquetas, el uso de sensores programados y el desarrollo de un debate final. El póster pone el foco en el diseño global de la propuesta, destacando la integración de metodologías activas y enfoques como la indagación, el pensamiento computacional y la modelización. Se incluye además un mapa visual del proyecto, en el que se muestran los productos elaborados por el alumnado y las actividades clave desarrolladas a lo largo de la situación de aprendizaje.

- Publicación 9. *Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á., & Bosnjak-Stepanović, M. (2024). Developing Computational Thinking Through Understanding the pH Concept: A Study with Micro Bit in Secondary Education. En STEAM+X 2024 Conference Proceedings (pp. 031–041).* https://doi.org/10.46793/STEAM-X24.031CL

Esta publicación se inscribe en la fase de análisis de la investigación y tiene como finalidad evaluar el impacto de la propuesta didáctica en el desarrollo del pensamiento computacional, la comprensión conceptual del pH y el despliegue de la competencia digital del alumnado. Esta publicación no solo documenta los resultados obtenidos, sino que también consolida la transferencia didáctica del enfoque propuesto, a través de una experiencia situada en el contexto patrimonial del río Tinto, se propone una secuencia en la que los estudiantes construyen y programan sus propias herramientas de medición con placas Micro:bit y sensores de pH. El contraste entre un pretest inicial y un debate posterior permitió identificar avances significativos tanto en el plano conceptual como en la capacidad argumentativa de los estudiantes, lo que refuerza la pertinencia de esta metodología en contextos reales con fuerte carga socioambiental.

La propuesta, además, se alinea explícitamente con los estándares ISTE como marco de referencia internacional para la alfabetización digital, lo que aporta solidez y coherencia al enfoque competencial adoptado. Esta contribución resulta clave para la tesis en tanto ofrece una evidencia concreta del desarrollo de las competencias digitales y científicas del alumnado, en estrecha relación con las tres metodologías trabajadas y con los objetivos del estudio en su fase final.

- Publicación 10. *Campina-López, A. C., de las Heras-Pérez, M., & Lorca-Marín, A. A. (2025). Characterization of Emotions Linked to the Study of a STEAM Project Contextualized in a Controversial Heritage. Education Sciences, 15(6), Article 6.* https://doi.org/10.3390/educsci15060725

Esta publicación forma parte del bloque final del compendio y se sitúa en la fase de análisis, ofreciendo una aportación clave para comprender el impacto emocional de la propuesta educativa. El artículo se encuentra aceptado en el momento de realización de esta tesis doctoral. Se centra en el estudio de caso de una secuencia didáctica interdisciplinar basada en el enfoque STEAM y contextualizada en el patrimonio controversial del río Tinto. A través de instrumentos cualitativos como cuestionarios abiertos y cuadernos de campo, se analizan las emociones académicas experimentadas por el alumnado en diferentes momentos del proceso de aprendizaje, identificando no solo su tipología, sino también sus causas y vínculos con las metodologías aplicadas.

Esta investigación ha permitido contrastar el papel de las emociones epistémicas, de logro, temáticas y sociales en relación con actividades como la indagación, la programación de sensores y el trabajo con contenidos patrimoniales, en un marco de aprendizaje activo y situado en un centro de interés como es el río Tinto y su entorno. Su aportación al conjunto de la tesis es doble: por un lado, proporciona evidencias empíricas sobre la dimensión afectiva del aprendizaje en contextos tecnológicos y patrimoniales, y por otro, contribuye a uno de los objetivos específicos del estudio al caracterizar el origen y la naturaleza de las emociones académicas vinculadas a la propuesta.

- Publicación 11. *Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (en prensa). Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: Un estudio de caso sobre patrimonios controversiales. Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales (DCES).*

Esta última publicación se enmarca dentro de la fase de análisis de la tesis, y tiene como eje central el estudio del pensamiento crítico y la argumentación como habilidades fundamentales para la formación científica y ciudadana del alumnado. Al igual que el anterior, se encuentra en proceso de revisión mientras se escribe esta tesis doctoral y se justifica su inclusión en el compendio por ser la producción que ofrece un tratamiento más detallado sobre cómo evaluar el desarrollo de estas competencias críticas y argumentativas a partir del diseño de un instrumento *ad hoc* que integra el modelo de Toulmin (TAP) con las habilidades

de pensamiento crítico descritas por Facione. A través del análisis de las argumentaciones producidas por el alumnado en un debate final sobre el futuro del río Tinto, se demuestra un avance significativo en la calidad y complejidad de sus razonamientos. La mejora en componentes como la refutación, el uso de calificadores, el respaldo y la garantía, junto con la aparición de habilidades críticas como la autorregulación, evidencian el impacto del enfoque metodológico interdisciplinar adoptado. Por tanto, este artículo contribuye de forma directa a los objetivos específicos de la tesis al ofrecer evidencias empíricas del desarrollo de habilidades de pensamiento crítico a través de la contextualización en patrimonios controversiales. La investigación destaca cómo una situación de aprendizaje interdisciplinar, que integra ciencias experimentales y ciencias sociales mediante metodologías activas (indagación, modelización, pensamiento computacional y debate), puede enriquecer el aprendizaje escolar y conectar el conocimiento con los problemas reales del entorno.

4.2 El compendio de publicaciones

4.2.1 Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y resolución de problemas en las aulas de ciencias. (Comunicación en 30 ECDE).

Tabla 16. Publicación 1.

Campo	Información
Referencia	Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., y de las Heras Pérez, M. Á. (2022). Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y resolución de problemas en las aulas de ciencias. En A. Benarroch Benarroch (Ed.), *La enseñanza de las ciencias en un entorno intercultural: 30 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 517–522). Universidad de Granada. ISBN 978-84-338-7039-1.
Publicación	Comunicación publicada en libro de actas con ISBN. La enseñanza de las ciencias en un entorno intercultural. *La publicación recoge las aportaciones del 30º Encuentro Internacional de Didáctica de las Ciencias Experimentales, celebrado en Melilla en 2022. Este congreso es una referencia en el ámbito iberoamericano para la comunidad investigadora en didáctica de las ciencias. Las comunicaciones aceptadas fueron editadas por el Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada y se encuentran disponibles en catálogos académicos como REBIUN. La obra aborda temáticas actuales como la inclusión, el enfoque intercultural, las metodologías activas y el papel de la ciencia en contextos educativos diversos.*
Editorial	Universidad de Granada, Servicio de Publicaciones
Editora literaria	Alicia Benarroch Benarroch
Año de publicación	2022
ISBN	978-84-338-7039-1
País	España
Idioma	Español
Sitio web	https://editorial.ugr.es
Clasificación académica	Congreso de referencia en la comunidad científica de didáctica de las ciencias
Indexación	REBIUN, Catálogos ISBN, bibliotecas universitarias
Métricas	No aplica
Evaluación	No aplica

30 ENCUENTROS INTERNACIONALES DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES
Línea 3. Inn. e Inv. en la EA de las Ciencias en EI y EP

Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y resolución de problemas en las aulas de ciencias

Alejandro Carlos Campina López[1], Antonio Alejandro Lorca Marín[2], María Ángeles de las Heras Pérez[3].
[1] Univ. de Huelva. Dpto. de Didácticas integradas. alejandro.campina@ddi.uhu.es
[2] Univ. de Huelva. Dpto. de Didácticas integradas. antonio.lorca@ddcc.uhu.es
[3] Univ. de Huelva. Dpto. de Didácticas integradas. angeles.delasheras@ddcc.uhu.es

RESUMEN: Este trabajo es un análisis documental que realiza un estudio comparativo entre el Pensamiento Computacional y la Indagación y el papel juega la Modelización en cada uno, proponiendo nuevas definiciones para así conformar un marco conceptual que facilite desarrollo de actividades y proyectos educativos en el área de las ciencias. Dado el éxito de las Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación (IBSE, por sus siglas en inglés, Inquiry-Based Science Education) y la demanda actual de una sociedad más digitalmente alfabetizada, se considera necesario definirlos y conocer cómo convergen y se articulan para poder ayudar a su implementación y coexistencia. Los resultados de este análisis sugieren una gran afinidad y grado de solapamiento entre estos tres conceptos para poder ser trabajados en conjunto.

PALABRAS CLAVE: Pensamiento computacional, Enseñanza basada en indagación, Modelización, Enseñanza de las ciencias

ABSTRACT: This work is a documentary analysis that conducts a comparative study of Computational Thinking and Inquiry and the role Modeling plays in each, proposing new definitions in order to form a conceptual framework that facilitates the development of educational activities and projects in the field of sciences. Given the success of Inquiry-Based Science Education (IBSE) and the current demand for a more digitally literate society, it is thought necessary to define and understand how they converge and articulate in order to aid in their implementation and coexistence. The findings of this analysis indicate a high affinity and degree of overlap between these three concepts' abilities to collaborate.

KEYWORDS: Computational Thinking, Inquiry, Modeling, Science education.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la transformación digital desarrollada en nuestra sociedad ha puesto de manifiesto por parte de organismos nacionales e internacionales, investigadores, gobiernos y comunidades educativas la necesidad de integrar en los currículos las Ciencias de la Computación (CC en adelante). La implantación de esta ciencia comprende, entre otros propósitos, el desarrollo del llamado Pensamiento Computacional (PC en lo sucesivo).

En los últimos años ha tenido lugar la introducción de la programación como materia en la enseñanza obligatoria en diversos países como algo necesario para los alumnos y ha acelerado la aceptación del PC como un concepto imprescindible en la enseñanza sin dar tiempo a su investigación: qué procesos implica este pensamiento, para qué puede ser realmente útil y cómo podemos abordarlo en educación, más allá de enseñar a programar (Ortega-Ruipérez, 2020).

El informe presentado en 2015 por la *Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología* (FECYT)(Olivares de Julián et al., 2016) en colaboración con el gigante tecnológico *Google* destaca lo importante para las nuevas generaciones el tener conocimiento las CC para saber cómo funciona la tecnología, cómo se desarrolla y evoluciona y adquirir habilidades que son necesarias para diversos campos, de entre ellos, se pone de manifiesto el PC como una aproximación hacia la resolución de problemas en cualquier área y no sólo en la relacionada con las tecnológicas, puntualizando que "las CC son un ámbito de conocimiento clave, y el aprendizaje de la programación informática constituye una habilidad básica del Siglo XXI". De forma análoga y en el mismo año, la propia Comisión Europea a través del informe *Science Education for Responsible Citizienship* habla sobre la necesidad de que los sistemas educativos y las políticas en materia de educación deberían centrar su apoyo a escuelas, maestros y estudiantes de todas las edades para aproximar la indagación a la educación de ciencias como parte de su núcleo (Hazelkorn et al., 2015). Según el propio FECYT, institución dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, existen abundantes pruebas sobre los beneficios de un enfoque indagativo en el aprendizaje de las ciencias y la mejor manera de aprender ciencia escolar es practicándola a través de las prácticas científicas más recomendadas por la investigación didáctica (indagación, modelización y argumentación) (Jiménez-Liso, 2020).

Por otro lado, atendiendo a la orden Orden ECD/686/2014 del Ministerio de Educación, Cultura y deporte, se indica para el área de las Ciencias de la Naturaleza que "dada su creciente importancia, se debe iniciar a los alumnos y alumnas en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, para buscar información y para tratarla y presentarla, así como para realizar simulaciones interactivas y representar fenómenos de difícil realización experimental."

La necesidad de desarrollar el PC y la indagación en la enseñanza de ciencias hacen replantearse cómo y en qué grado se pueden llevar a cabo de forma conjunta y para ello se considera necesario realizar estudio de sus significados, sus componentes, su rigor académico, el papel de profesores y alumnos, el cómo se evalúan, cómo usan las tecnologías digitales y cómo se comunican. Además, se ha realizado una revisión acerca de la modelización y su empleo como instrumentos o recursos usados en ciencias como vía para estudio, expresión, comprensión o generación de conocimiento.

MARCO CONCEPTUAL

El empleo de metodologías IBSE implican la realización de observaciones, la formulación de preguntas, la revisión de fuentes de información y evidencias experimentales, la planificación de investigaciones, la proposición de respuestas y explicaciones y la comunicación de resultados.

Para ello se requiere la capacidad del aprendiz para la identificación de supuestos, el uso del pensamiento crítico y lógico y la consideración de explicaciones alternativas (Andrade et al., 2010). Como punto de partida y de fundamentación para la realización

de futuros trabajos y proyectos, se ha considerado necesario hacer una nueva definición de cada concepto como base al estudio y desarrollo de actividades en conjunto.

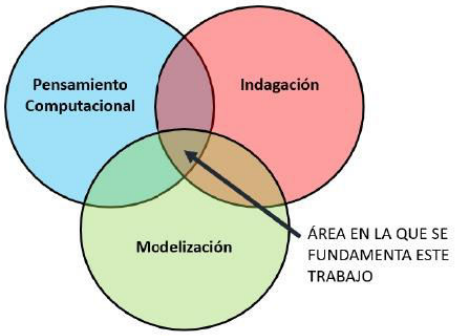


Figura 1. Representación de las 3 áreas principales en las que se fundamenta este proyecto y su zona de convergencia central como marco conceptual.

El concepto de Pensamiento Computacional

Desde que (Wing, 2006) acuñara el término por vez primera como "una forma de pensar que no se restringe en exclusiva hacia los programadores de sistemas ni científicos en computación, sino como un grupo de habilidades útiles para todas las personas" la propia autora amplió su definición en 2011 describiéndolo como "Los procesos del pensamiento implicados en la formulación de problemas y sus soluciones para que las soluciones se representen en una forma que pueda ser llevada a cabo efectivamente por un agente del procesamiento de la información". De esta definición surgen dos aspectos que son particularmente significativos para la educación (Bocconi et al., 2016):

- El PC es un proceso de pensamiento, por lo tanto, independiente de la tecnología.
- El PC es un tipo específico de resolución de problemas que implica capacidades distintas, por ejemplo, ser capaz de diseñar soluciones para ser ejecutadas por un ordenador, un humano, o una combinación de ambos.

En este proceso, el pensador computacional formula interrogantes que le permiten operacionalizar los problemas y darles solución mediante estrategias basadas en el análisis y construcción de algoritmos, y en las cuales aplica sus habilidades y herramientas mentales (Padrón et al., 2021).

Teniendo en cuenta las diferentes definiciones que ponen como énfasis el PC como un proceso: Wing (2006), ISTE y CSTA (2011), The Royal Society (2012), como una habilidad: Pérez y Roig-Vila (2015), (Zapata-Ros, 2019), o como una metodología: (González, 2016) y Padrón (2021), se propone la siguiente definición del término PC:

- Proceso mental para la resolución de problemas a través de habilidades o conceptos computacionales (descomposición, abstracción, reconocimiento de patrones, lógica algorítmica y depuración) que facilita el diseño y entendimiento de modelos reales o virtuales, involucrando la creatividad y el razonamiento secuencial para transformar eventos en términos más sencillos y manejables, reutilizables en todos los contextos de la vida cotidiana.

El concepto de Indagación

Las bases teóricas de la enseñanza basada en la indagación residen en el constructivismo (Chatterjee et al., 2009). Los aportes de (Couso, 2014) resumen en tres aspectos diferentes aquello a lo que los autores se refieren al hablar de indagación: el primero se refiere a las capacidades cognitivas que los estudiantes deben desarrollar: la capacidad de "indagar" o "investigar" científicamente, haciendo referencia a un contenido "de ciencias" a aprender que pueden interpretarse como habilidades procedimentales de tipo técnico-manipulativo, tales como medir, observar, hacer una gráfica, etc., o como conocimiento de las prácticas y conceptos en las que se basa la investigación empírica, como el uso de pruebas y la comunicación de resultados. El segundo, destaca la necesidad que el alumnado entienda sobre los métodos utilizados por los científicos para dar respuesta a sus preguntas basada en la práctica científica. El tercero hace hincapié en las diferentes estrategias de enseñanza y aprendizaje que el profesorado debe desarrollar para que el alumnado aprenda los dos aspectos anteriores a través de una metodología IBSE.



Figura 2. Esquema con los principales conceptos que definen las diferentes metodologías y habilidades descritas en este trabajo.

Al igual que con el PC se propone la siguiente definición para el concepto de indagación, tomando de referencia autores y entidades como (National Research Council, 1996), (Linn et al., 2018), Couso (2014), (Jiménez-Liso, 2020):

- Habilidad de formular preguntas investigables y de emisión de hipótesis para desarrollar un proceso intencional de identificación y análisis de problemas, selección e interpretación de la información que permitan el uso o diseño de modelos e instrumentos para medir y obtener datos, indicios o coherencia de resultados que sirven para sustentar conclusiones en cualquier ámbito de la vida.

El concepto de Modelización

La modelización permite "idear" modelos interpretativos que nos sirvan para describir, predecir, explicar e intervenir en los fenómenos de acuerdo con lo que sabemos y las pruebas disponibles y que puedan transferirse a otros contextos. Esto implica poner el foco en la modelización, es decir, en la expresión, el uso, la evaluación y la revisión de los modelos (Couso, 2020).

Los modelos en educación de las ciencias naturales hacen referencia a multitud de actividades y recursos, físicos o virtuales, como maquetas, simulaciones, experimentos reales o virtuales, metáforas, analogías, etc. Se sugiere que el aprendizaje dentro de dicho currículo implica: adquirir una comprensión aceptable de qué es un modelo y cómo se lleva a cabo el modelado. (Gilbert, 2004).

La definición que se sugiere para el término modelización se ha construido en base a lo descrito por autores como Couso (2020), Gilbert (2004) y Oliva (2017):

- La modelización es la actividad esencial en las ciencias que conlleva a diseñar, expresar, usar, evaluar y revisar modelos, reales o virtuales, que cambian a medida que mejora la comprensión del mismo y que se usan como medio a través del cual se representan y desarrollan todos los sistemas o fenómenos con objeto de contrastar pruebas y explicar o predecir situaciones y hechos que sirven como mediadores entre las teorías y el mundo real.

CONCLUSIONES

Se considera la existencia de una importante afinidad entre los conceptos de pensamiento computacional e indagación como procesos para la resolución de problemas. A pesar de que existen muchos autores que definen al PC como un proceso para la formulación de problemas, se considera que éstos problemas se desarrollan a lo largo de un proceso y no desde un principio, considerándose el PC como un proceso puramente resolutivo. Por el contrario, el punto de partida de la indagación es el planteamiento de una pregunta o problema investigable que genera especial interés en el investigador y que desencadena un proceso investigativo para buscar respuestas.

La modelización, a través de sus múltiples dimensiones, resulta un eje fundamental para el desarrollo del conocimiento que refuerza la creatividad a medida que se aprende y que sirve de base para desarrollo de un producto propio que podría generar emociones positivas en el alumnado.

Finalmente, se sugiere que la conjunción de estos tres conceptos puede ser muy adecuada para el desarrollo de proyectos en el aula de ciencias y que su estudio e implementación puede ser clave para la adquisición de multitud de competencias, entre ellas, las relacionadas con las TIC, siendo la indagación y el PC procesos que podrían coexistir y complementarse a través de la modelización como "vehículo" para el desarrollo de los dos. Y, además, dicha conjunción se propone como solución a las carencias del sistema educativo para satisfacer la necesidad del currículo de llevar a cabo en el aula simulaciones interactivas y representar fenómenos de difícil realización experimental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, H. B., Moreno, C. S., Garzón, L. P. y Donoso, J. D. M. (2010). El éxito en la enseñanza de las Ciencias basada en Indagación (EBCI): ¿Una cuestión más allá del aula de clase? *Pedagogía y saberes*, *32*, 111-124.

Basogain-Olabe, X., Olabe-Basogain, M. Á. y Olabe-Basogain, J. C. (2015). Pensamiento Computacional a través de la Programación: Paradigma de Aprendizaje. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, *46*. https://doi.org/10.6018/red/46/6

Bocconi, S., Chioccariello, A., Dettori, G., Ferrari, A. y Engelhardt, K. (2016). *El Pensamiento Computacional en la Enseñanza Obligatoria (Computhink) by INTEFP Europa—Developing computational thinking in compulsory education—Implications for policy and practice*. https://issuu.com/ite_europa/docs/2017_0206_computhink_jrc_ue_intef

Chatterjee, S., Williamson, V. M., McCann, K. y Peck, M. L. (2009). Surveying Students' Attitudes and Perceptions toward Guided-Inquiry and Open-Inquiry Laboratories. *Journal of chemical education*, *86*(12), 1427-1432.

Couso, D. (2014). *De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: Una reflexión crítica.* 28.

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *2*(2), 115-130. https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4

González, M. R. (2016). Codigoalfabetización y pensamiento computacional en educación primaria y secundaria: validación de un instrumento de evaluación de programas. 720.

Hazelkorn, E., Ryan, C., Beernaert, Y., Constantinou, C., Deca, L., Grangeat, M., Karikorpi, M., Lazoudis, A., Pintó, R. y Welzel-Breuer, M. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. https://doi.org/10.2777/12626

International Society for Technology in Education ISTE & Computer Science Teachers Association CSTA. (2011). *Operational Definition of Computational Thinking for K–12 Education*. http://www.iste.org/docs/ct-documents/ctleadershipt-toolkit.pdf?sfvrsn=4

Jiménez-Liso, M. R. (2020, marzo 5). *Enseñando ciencia con ciencia* [Text]. FECYT. https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Linn, M., McElhaney, K., Gerard, L., & Matuk, C. (2018). *Inquiry learning and opportunities for technology*.

Orden ECD/686/2014, de 23 de abril, por la que se establece el currículo de la Educación Primaria para el ámbito de gestión del Ministerio de Educación, Cultura y deporte y se regula su implantación, así como la evaluación y determinados aspectos organizativos de la etapa, Pub. L. No. Orden ECD/686/2014, BOE-A-2014-4626 33827 (2014). https://www.boe.es/eli/es/o/2014/04/23/ecd686

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/4962

Oliva-Martínez, José María. «Modelización y pensamiento analógico en el aprendizaje del cambio químico». *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, [en línea], 2017, n.º Extra, pp. 4363-70, https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337626 [Consulta: 28-02-2022].

Olivares de Julián, P., Ruíz Oliva, A., Zimmerman, Jose Luis, Mateos, J. A., Salazar Sabaté, F., Moreno León, J., Muntaner Perich, E., & Gómez Ortega, A. (2016, abril 20). *Educación de las Ciencias de la Computación en España* [Text]. FECYT. https://www.fecyt.es/es/publicacion/educacion-de-las-ciencias-de-la-computacion-en-espana

Ortega-Ruipérez, B. (2020). Pedagogía del Pensamiento Computacional desde la Psicología: Un Pensamiento para Resolver Problemas. *Cuestiones Pedagógicas. Revista de Ciencias de la Educación*, *2*(29), 130-144. https://doi.org/10.12795/CP.2020.i29.v2.10

Padrón, N. P., Planchart, S. F., & Reina, M. F. (2021). Aproximación a una definición de pensamiento computacional. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *24*(1), 55-76. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27419

¿Qué es la Indagación? (s. f.). *Galileo Educational Network*. Recuperado 28 de enero de 2022, de https://galileo.org/articles/que-es-la-indagacion/

The Royal Society (2012). Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools. Computing in Schools Reports. https://royalsociety.org/topicspolicy/projects/computing-in-schools/report/

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33-35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Zapata-Ros, M. (2019). Pensamiento computacional desenchufado. *Education in the Knowledge Society, 20*(18). https://doi.org/10.14201/eks2019_20_a18

4.2.2 Análisis para la implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y la resolución de problemas en las aulas de ciencias.

Tabla 17. Publicación 2.

Campo	Información
Referencia	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), 75–91. https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493
Publicación	Artículo publicado en revista académica española de acceso abierto. Ápice. Revista de Educación Científica es una publicación científica que da respuesta a las inquietudes y necesidades de profesorado e investigadores/as en el ámbito de la educación científica. Su finalidad es promover investigaciones e innovaciones que mejoren la formación científica ciudadana y docente, en todos los niveles educativos y contextos formales o informales. Acepta estudios empíricos, teóricos y propuestas innovadoras justificadas.
Editorial	Universidade da Coruña
Año de publicación	2023
Volumen y número	Vol. 7, Nº 1, pp. 75–91
ISSN	2531-016X
País	España
Idioma	Español
Sitio web	http://revistas.udc.es/index.php/apice/index
Clasificación académica	Revista científica especializada en educación científica y didáctica de las ciencias
Indexación	DOAJ, ERIH Plus, REDIB, Dialnet, MIAR, Google Scholar, Latindex Catálogo v2.0, Dulcinea
Métricas	No aplica
Evaluación	No aplica
Difusión	c0 + m2 + e0 + x3

Ápice. Revista de Educación Científica, 7(1), 2023
Sección. Investigación en educación científica
DOI: https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493
ISSN: 2531-016X
BY-SA

Análisis para la implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y la resolución de problemas en las aulas de ciencias

Alejandro Carlos Campina López, Antonio Alejandro Lorca Marín, María Ángeles de las Heras Pérez

Departamento de Didácticas Integradas. Universidad de Huelva, Huelva, España

[Recibido el 25 de enero de 2023, aceptado el 17 de marzo de 2023]

Este trabajo es un análisis documental descriptivo que realiza un estudio comparativo entre el Pensamiento Computacional, la Indagación y la Modelización, proponiendo nuevas acepciones para así conformar un marco conceptual que pueda facilitar el desarrollo de actividades y proyectos educativos en el área de las ciencias. Dado el éxito de las Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación (IBSE, *Inquiry-Based Science Education*) y la demanda actual de una sociedad más digitalmente alfabetizada, se considera necesario definir las citadas metodologías y conocer sus principales componentes, características y habilidades que desempeñan para saber cómo convergen y se articulan, facilitando así su implementación y coexistencia. Los resultados de este análisis sugieren una gran afinidad y grado de solapamiento entre estos tres conceptos donde el uso de modelos se sitúa como uno de los ejes principales para su desarrollo en las aulas de ciencias.

Palabras clave: pensamiento computacional; indagación; modelización; didáctica de las ciencias experimentales; resolución de problemas.

Analysis of a mixed methodology of research and problem-solving in the science classroom

The article presents a comparative descriptive documentary analysis of computational thinking, inquiry and modelling, and proposes a new conceptual framework for the promotion of educational activities and projects in the field of science. The success of Inquiry-Based Science Education (IBSE) and the current demand for a more digitally literate society make it important to have a clear definition and understanding of these concepts, their main components and characteristics, and the skills they involve, in order to understand how they converge and connect, and thereby facilitate their implementation and coexistence. The findings of the study indicate a strong affinity and overlap between the three methodologies, and highlight the use of modelling as key to their use in the science classroom.

Keywords: computational thinking; inquiry; modelling; science education; problem-solving.

Para citar el artículo. Campina López, A.C., Lorca Marín, A.A. y de las Heras Pérez, Mª.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), 75-91. DOI: https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493
Contacto. alejandro.campina@ddi.uhu.es; antonio.lorca@ddcc.uhu.es; angeles.delasheras@ddcc.uhu.es

Introducción

En los últimos años ha tenido lugar la introducción de la programación como materia en la enseñanza obligatoria en diversos países (R.D. 157/2022) y ha acelerado la aceptación del Pensamiento Computacional (PC) como un concepto imprescindible en la enseñanza sin dar tiempo a su investigación: qué procesos implica este pensamiento, para qué puede ser realmente útil y cómo podemos abordarlo en educación, más allá de enseñar a programar (Ortega-Ruipérez, 2020). Aun así, se constituye como un tema de interés para la investigación y para el desarrollo de innovaciones e intervenciones de la competencia STEM (*Science, Technology, Engineering, Maths*) (Grover & Pea, 2017), como una herramienta eficaz para fomentar las escasas vocaciones científicas que pueda desarrollar en el alumnado las capacidades necesarias para los trabajos del futuro (García-Fuentes, 2022) y como un recurso metodológico que actuaría como vehículo o medio para alcanzar determinados fines en las disciplinas o en las relaciones entre ellas (Quiroz-Vallejo et al., 2021).

El informe presentado en 2015 por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT (Olivares de Julián et al., 2016), en colaboración con el gigante tecnológico Google, destaca lo importante para las nuevas generaciones que supone el tener conocimiento en las Ciencias de la Computación (CC) para saber cómo funciona la tecnología, cómo se desarrolla y evoluciona, y para adquirir habilidades que son necesarias para diversos campos. De entre ellos, se pone de manifiesto el PC como una aproximación hacia la resolución de problemas en cualquier área, y no sólo en la relacionada con la tecnología. De forma análoga y en el mismo año, la propia Comisión Europea a través del informe *Science Education for Responsible Citizienship* habla sobre la necesidad de que los sistemas educativos y las políticas en materia de educación deberían centrar su apoyo a escuelas, maestros y estudiantes de todas las edades para aproximar la indagación a la educación de ciencias como parte de su núcleo (Hazelkorn et al., 2015). Según la propia FECYT, existen abundantes pruebas sobre los beneficios de un enfoque indagativo en el aprendizaje de las ciencias y cómo la mejor manera de aprender ciencia escolar es aplicándola a través de las prácticas científicas más recomendadas por la investigación didáctica, indagación, modelización y argumentación (Jiménez-Liso, 2020).

La necesidad de desarrollar el PC y la indagación en la enseñanza de ciencias hace replantearse cómo y en qué grado se pueden llevar a cabo de forma conjunta, y por ello se considera necesario tener en cuenta la modelización en su dimensión instrumental para que ayude en la construcción de procesos de andamiaje que han de guiar los procesos de enseñanza, ante tareas como conceptualizar, reflexionar, visualizar, ilustrar, representar, etc. (Oliva, 2021), considerándose una actividad esencial de la ciencia erudita y escolar que conlleva expresar, usar, evaluar y revisar dichos modelos como vía para la comprensión o generación de conocimiento.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión general de los conceptos de PC, indagación y modelización para comprender y conocer sus componentes y características básicas (figura 1), para así poder definirlos y delimitar un área de trabajo que justifique su viabilidad conjunta en el futuro desarrollo de metodologías o protocolos de investigación STEM en las aulas de ciencias en niveles de educación primaria y secundaria (figura 2).

Marco Conceptual

La indagación científica ha estado en un perenne eje central en educación de las ciencias en el último siglo y refiere a la combinación de procesos científicos tradicionales junto con el conocimiento científico, razonamiento científico y el pensamiento crítico para desarrollar

el conocimiento científico (Lederman, 2009), además de fomentar el aprendizaje de actitudes científicas como el respeto por la evidencia, el escepticismo y la preocupación por los seres vivos y el medio ambiente (Harlen, 2000).

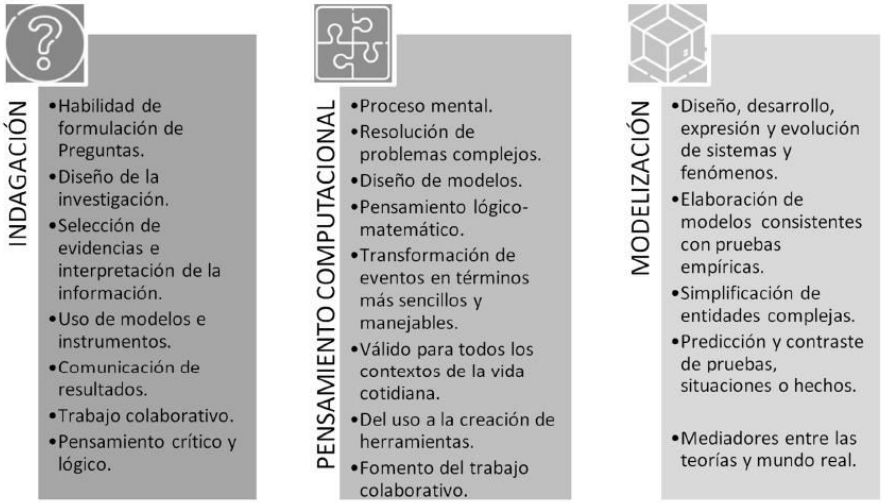


Figura 1. Esquema con algunas de las principales características de los conceptos de indagación, pensamiento computacional y modelización. Fuente: elaboración propia.



Figura 2. Representación de las tres áreas principales en las que se fundamenta este trabajo (pensamiento computacional, indagación y modelización) y su área de convergencia central como marco conceptual. Fuente: elaboración propia.

Según Cárdenas y Saavedra (2017), se hace necesario el diseño de instrumentos modelo que guíen el desarrollo de la competencia de indagación debido a las dificultades que presentan los estudiantes en los que se evidencia como debilidad la competencia de indagación en Ciencias Naturales, además de que muchos maestros parecen tener dificultades para crear situaciones en clase basadas en la indagación (Crawford, 2007). En este ámbito Couso (2014) expresa que el enfoque indagativo, como la mayoría de "modas educativas", tiene en nuestro país una vida mucho más teórica (política y académica) que práctica, siendo muy pocos los docentes que enseñan de esta forma.

Por otro lado, el PC, fundamentado en el pensamiento lógico-matemático, es el exponente de una nueva forma de alfabetización digital y una competencia básica que todo

ciudadano debería conocer para desenvolverse en la sociedad digital (Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2018). El PC provee una metodología apropiada para resolver enunciados, ejercicios y situaciones problemáticas en cualquier ámbito de la vida y posee como uno de los objetivos principales dotar de habilidades para desenvolverse en los entornos digitales y manejar el lenguaje de los ordenadores, y así pasar de ser simples consumidores de tecnología digital a tener la capacidad de entenderlas e incluso de poder crearlas (Resnick y Rusk, 2020).

Dado el creciente rol que ocupa la informática en la educación, la comprensión de cómo las personas interactúan con las computadoras y entrenan el abordaje algorítmico de los problemas a través de lenguajes informáticos, se ha convertido en un área de interés para investigadores en educación (Fussero et al., 2021). Sin embargo, no existe un consenso en cómo deben incluirse estos contenidos en el sistema educativo (Bocconi et al., 2016). La falta de acuerdo entre los expertos sobre la propia definición o estructura que lo componen, puede dificultar su enseñanza, y por lo tanto una evaluación poco válida o fiable, por no hablar de la escasa inclusión de su didáctica en la formación inicial y permanente del profesorado o la falta de criterios estables para su integración en los currículos (Adell et al., 2019).

Ante la falta de una estrategia nacional en España que garantice al alumnado una formación universal en informática (Iturbide y Lope, 2021), el Gobierno de España publica el Real Decreto 157/2022 incluyendo el PC como unos de los componentes de la Competencia Digital (CD) y como una de las competencias específicas para las áreas de matemáticas y el conocimiento del medio natural, social y cultural. Ante esta realidad se sugiere la necesidad de realizar experiencias e investigaciones educativas que integren el PC y las disciplinas como las ciencias naturales, las humanidades y las ciencias sociales dada la escasez de trabajos en este ámbito (Quiroz-Vallejo et al., 2021).

Por último, recientes trabajos de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias (Oliva, 2021) ponen de manifiesto la necesidad de abordar los conceptos de modelo y modelización. A día de hoy dichos conceptos son considerados parte integral de la alfabetización científica (Gobert & Buckley, 2000). En palabras de Oliva (2019), "se asume que los modelos pueden ser importantes para el logro de la comprensión conceptual en la ciencia a un nivel que va más allá de la memorización de hechos, ecuaciones o algoritmos" y que, "sin descartar otras metas didácticas, la educación científica se interpreta en clave de aprendizaje de modelos". Aun así, la enseñanza basada en modelos no es común en las aulas debido a que se asocia a ideas teóricas altamente abstractas en cuanto a la construcción de sus modelos y el desarrollo de sus explicaciones (Windschitl et al., 2008)

Metodología

Esta investigación se corresponde con el tipo descriptivo, siguiendo un diseño documental. Ante la necesidad de conocer las conceptualizaciones y los procesos de indagación, modelización y PC, se llevaron a cabo varias búsquedas para cada uno entre junio y noviembre del 2022 en diversas bases de datos (WoS, Scopus, Dialnet y ERIC), además de consultar webs oficiales del Ministerio de Educación de España e Inglaterra, así como revistas electrónicas asociadas a entidades relevantes como la BBC y *Microsoft*. Para las ecuaciones de búsqueda se consideraron todos los campos (título, palabras clave, autores...), concretándose diferentes palabras clave para la indagación y la modelización como: "inquiry", "enquiry", "IBSE" y "modelling", "model", "modelling resources" además de "MBI" (*model-based inquiry*), siendo asociadas con "science" y "science education", respectivamente. Para la concreción del PC se utilizaron las palabras clave "computational

thinking" asociándola con "science", "science education" y "STEM" o "STEAM". Para los criterios de inclusión se consideraron documentos en inglés y español, además de estar relacionados con el ámbito de la investigación educativa dentro del campo de educación en ciencias y que fueran documentos de libre acceso. Para el PC se puso el foco en revisiones sistemáticas y en todos los casos se excluyeron toda aquella literatura no referida a la conceptualización y caracterización de cada uno de los tres conceptos que se estudian en este proyecto. Además, se tuvieron en cuenta algunos de los trabajos de los autores y estamentos más citados en los documentos seleccionados. Los documentos incluidos ascienden a 160 entre fuentes impresas y electrónicas, artículos en revistas, libros, tesis doctorales y páginas web, de las cuales se extrajeron y seleccionaron las principales características y definiciones que se sintetizaron en tablas y esquemas que presentamos este trabajo.

Resultados y discusión

Componentes y características de la indagación

Existen tres aspectos diferentes a los que los autores se refieren al hablar de indagación; (a) capacidades cognitivas que los estudiantes desarrollan y que incluyen tanto el dominio de las técnicas y herramientas como de las prácticas y conceptos en las que se basa la investigación empírica (destrezas y habilidades que deben aprender el alumnado); (b) métodos empleados por los científicos que el alumnado debe entender para dar respuesta a sus preguntas y comprender la naturaleza de las ciencias (los métodos usados por los científicos); y (c) estrategias de enseñanza y aprendizaje que el profesorado debe desarrollar para que el alumnado aprenda los dos aspectos anteriores (lo que deben conocer los docentes) (Barrow, 2006).

El Consejo Nacional de Investigación estadounidense NRC (*National Research Council*) en 1996 identificó y diferenció cinco características esenciales de indagación. Años más tarde el NRC (2000) especificó habilidades fundamentales las cuales también relacionamos (tabla 1) con algunas consideraciones publicadas por el Ministerio de Educación español en el "cuaderno de indagación en el aula y competencia científica", donde se detallan algunos aspectos de la indagación que aproximan los proyectos de investigación en la escuela a la ciencia (Fernández et al., 2011).

De igual forma se definieron acciones donde poner énfasis para promover la enseñanza-aprendizaje de la indagación que Barrow, (2006) recopiló para el desarrollo de buenas prácticas en las aulas de ciencias (figura 3).

Además de las aportadas por el NRC podemos destacar otras características dentro de la investigación basada en la indagación que servirían para definir la NOSI (*Nature of Scientific Inquiry*) "Naturaleza de la indagación científica" (Lederman et al., 2021), que años antes el propio Lederman et al. (2014) enumeró:

1. En las investigaciones científicas todo comienza con una pregunta y no necesariamente se plantea una hipótesis.
2. No hay un único conjunto de pasos seguidos en todas las investigaciones (del mismo modo que no hay un único método científico).
3. Los procedimientos de la indagación están guiados por la pregunta planteada.
4. Todos los científicos que desarrollan los mismos procedimientos podrían no obtener los mismos resultados.
5. Los procedimientos de investigación pueden influir en los resultados.

Tabla 1. Componentes de la indagación educativa con habilidades y consideraciones relacionadas. Fuente: elaboración propia a partir de: NRC, (1996) y (2000); Bybee (2004); y Fernández et al. (2011).

Componentes (NRC, 1996)	Habilidades (NRC, 2000; Bybee, 2004)	Consideraciones (Fernández et al., 2011)
Preguntas científicamente orientadas que enganchen a los estudiantes.	Identificación preguntas y conceptos científicos. Formulación de preguntas e hipótesis.	El alumnado es el que decide la pregunta que va a investigar.
Recopilación de evidencias para la evaluación y desarrollo de explicaciones a las preguntas científicamente orientadas.	Aplicación de la lógica, construcción de argumentos, utilización de evidencias. Diseño de la investigación.	El alumnado estudia otras fuentes relativas al problema que quiere estudiar (informes, artículos, etc.). El alumnado diseña la metodología de investigación, guiados por el docente. El alumnado realiza las investigaciones, observa, toma datos y los transforma en gráficos o modelos supervisados por el docente.
Explicaciones desarrolladas por los estudiantes a partir de sus evidencias que lleven a las preguntas científicamente orientadas.	Uso o construcción de modelos, dominio de las matemáticas y la tecnología como herramientas.	
Evaluación de sus explicaciones, las cuales pueden incluir respuestas alternativas que reflejen una comprensión científica.	Reconocimiento y análisis de respuestas alternativas, revisión de los resultados, selección del modelo idóneo.	El alumnado explica los resultados y formula sus conclusiones. El alumnado comunica los resultados a la comunidad (escolar o, si procede, a la comunidad en general).
Comunicación y justificación de las explicaciones propuestas.	Ser capaz de comunicar, defender y argumentar científicamente.	

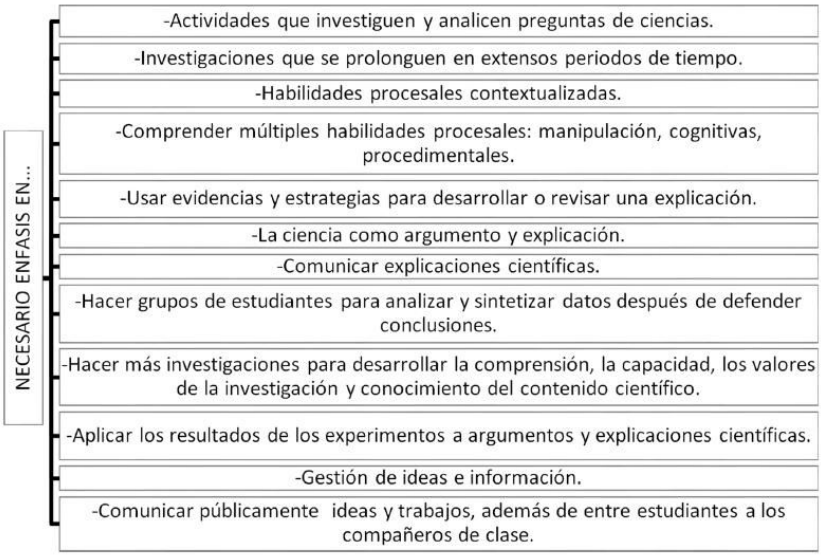


Figura 3. Esquema de acciones para promover buenas prácticas de la indagación en el aula. Elaboración propia. Fuente: NCR (1996) y Barrow (2006).

Jiménez-Liso a partir de Couso et al. (2020) propone el ciclo de indagación (figura 4) como ayuda para llevar a cabo una estrategia de investigación en las aulas de ciencias que consideramos como punto de referencia para trabajar el PC y la modelización:

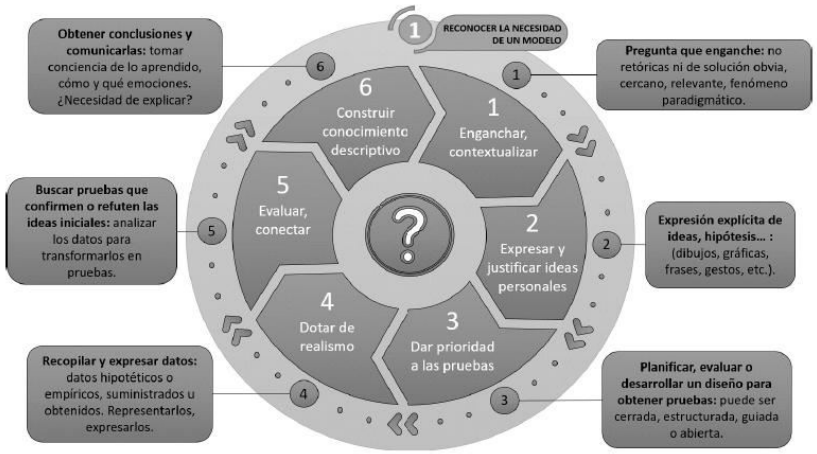


Figura 4. Esquema del ciclo de la indagación. En blanco se representa el objetivo didáctico (fases de la práctica de la indagación). En negro, la secuencia instruccional (fases de la instrucción). Fuente: Jiménez-Liso y Couso et al. (2020).

Definición de indagación

Según el OED (*Oxford English Dictionary*), "*inquiry*" o "*enquiry*" (indagar), se define como "la acción de búsqueda de la verdad, el conocimiento o la información sobre algo" o "la acción de preguntar o cuestionar". Para la RAE (Real Academia de la Lengua Española) significa "intentar averiguar algo discurriendo con preguntas". Estas definiciones parecen coincidir en el fundamento que tiene la indagación en el contexto científico y educativo, pues todo parece centrarse en el planteamiento de una pregunta; la indagación emana de una pregunta, cuestión, problema o exploración que tiene significado para los estudiantes (Galileo Educational Network, s.f.), siendo la formulación de preguntas de investigación una capacidad central del pensamiento científico (García-González y Furman, 2014). En esta línea, Martin-Hansen, (2002) expresa que "la indagación se refiere o al trabajo que realiza el investigador para estudiar el mundo natural o a las actividades de los estudiantes que 'imitan' lo que los científicos hacen." Para Lederman (2009) y Furtak (2006), en sintonía con el NRC, la indagación científica "se refiere a los diferentes enfoques sistemáticos utilizados por los científicos para estudiar el mundo natural proponiendo explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo" o como también se definió posteriormente: "es el proceso de cómo los científicos hacen su trabajo y como se genera y acepta el conocimiento científico resultante" (Lederman et al., 2018).

Por otro lado, en países como Colombia el concepto de indagación en ciencias es una competencia y el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) lo define como "Capacidad para plantear preguntas y procedimientos adecuados para buscar, seleccionar, organizar e interpretar información relevante para dar respuesta a esas preguntas (...) implica, entre otras cosas, plantear preguntas, hacer predicciones, identificar variables, realizar mediciones, organizar y analizar resultados, plantear conclusiones" (Cárdenas y Saavedra, 2017). En cuanto al *National Curriculum in England* (2013) habla de la indagación como una característica clave como aproximación a responder preguntas científicamente relevantes a través de la observación a lo largo del tiempo, búsqueda de patrones, identificar, clasificar y agrupar, pruebas comparativas y justas (investigaciones controladas) e investigar utilizando fuentes secundarias donde los alumnos deben buscar respuestas a las preguntas mediante la recopilación, el análisis y la presentación de datos.

En lo que respecta a España (Orden ECD/65/2015), si bien no se define, el concepto aquí se recoge a su vez dentro de la investigación científica como un "acercamiento a los métodos propios de la actividad científica" y dentro de estos métodos se cita al término de la siguiente manera: "indagación de caminos posibles para la resolución de problemas" sugiriéndose el concepto como una "búsqueda".

De este modo, nos posicionamos para definir la indagación de la siguiente forma:

> Estudio de una problemática que propicia la creación activa de conocimiento por medio de procedimientos rigurosos guiados a través de una o varias preguntas.

Se entiende como el planteamiento de una problemática que sirve de punto de partida para movilizar conocimiento y desencadenar una serie de procesos o procedimientos debidamente ejecutados en la búsqueda de una solución o respuesta. En un contexto educativo, la problemática principal podría propiciar el origen de uno o varios subproblemas que ayuden en su comprensión, los cuales se sugiere como necesario que han de ser formulados por los propios estudiantes, en aras de engancharlos, conectarlos y vincularlos con la problemática con la intención de generar emociones positivas para así despertar su curiosidad y su motivación en el proceso de investigación. El "modus operandi" o las formas de proceder, se consideran vitales para converger con el quehacer propio de la investigación científica en las que se busca rigurosidad procedimental en todas las fases de la investigación, sugiriéndose además como positivo la planificación del diseño y desarrollo metodológico por parte del alumnado en conjunción con el docente. Esta sinergia "problema-rigurosidad procedimental" se postula como clave en la construcción de la definición que sugerimos. De la misma forma, el posicionamiento que hemos acordado para la definición de la enseñanza de las ciencias basada en indagación (IBSE) sigue la misma línea de Furman y Podestá (2009) y Lederman et al. (2014):

> Es un modelo didáctico que genera situaciones de enseñanza-aprendizaje a partir de la formulación de problemas investigables donde se propone que el alumnado realice rigurosos procedimientos que permiten la construcción y diseño de modelos explicativos para sustentar y comunicar conclusiones y teorías.

Estudio del Pensamiento Computacional

Componentes y características del Pensamiento Computacional

El NRC (2010) enumeró un amplio listado de elementos y procesos del PC como: la reformulación de problemas complejos por reducción y transformación; soluciones aproximadas; procesamiento en paralelo; verificación de tipos y verificación de modelos como generalizaciones del análisis dimensional; abstracción y descomposición de problemas; representación de problemas; modularización; prevención, prueba, depuración, recuperación y corrección de errores; simulación; razonamiento heurístico; planificación, aprendizaje y programación en presencia de incertidumbre; estrategias de búsqueda; análisis de la complejidad computacional de algoritmos y procesos. Otros autores como Zapata-Ros y Pérez-Paredes (2018) y Barr et al. (2011) añaden otros conceptos como: búsquedas binarias, recursión, paralelización, reconocimiento de patrones; automatización; creatividad; sinéctica; trabajo en equipo; metacognición, análisis ascendente y descendente y el pensamiento bayesiano.

En un acercamiento a la concreción de los procesos de pensamiento del PC, revisiones sistemáticas como las de Ortega-Ruipérez (2020), Bocconi et al. (2016) y Kalelioglu et al. (2016) delimitan y definen con cierto grado de concordancia cinco procesos

fundamentales: abstracción, generalización, descomposición, creación de algoritmos, evaluación. Ortega-Ruipérez defiende la descomposición como un proceso fundamental del PC, ya que conlleva a que se aborde el problema de forma más sencilla reduciendo el esfuerzo cognitivo y sirviendo como estrategia para facilitar los procesos de pensamiento superiores. DIMACS (*Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*) (s.f.), concreta en cuatro los procesos clave (tabla 2) a los que llama las "piedras angulares" para el PC: descomposición, reconocimiento de patrones, abstracción y creación de algoritmos.

Tabla 2. Principales componentes definidas del Pensamiento Computacional (PC) en relación con sus habilidades asociadas a la resolución de problemas. Fuente: modificado de DIMACS (s.f.) y Ortega-Ruipérez (2020).

Principales componentes del PC	Habilidades
Abstracción: permite simplificar un concepto, identificando una idea a través del análisis de datos para desprender la idea general de los detalles.	Pensamiento abstracto, construcción de modelos, expresión oral y escrita, dominio de las matemáticas y la tecnología como herramientas
Algoritmización: permite la planificación de una secuencia lógica y limitada de acciones que conducen al logro de una tarea determinada.	Pensamiento algorítmico, secuenciación lógica. Expresión oral y escrita, dominio de las matemáticas y la tecnología como herramientas
Descomposición (o modularización): permite dividir el problema o tarea en partes más simples e independientes que se pueden abordar individualmente.	Identificación de problemas, Representación de problemas, construcción de modelos, dominio de las matemáticas y la tecnología como herramienta
Patrones: conjunto de entidades que comparten alguna característica que la diferencia del resto.	Lenguaje y reconocimiento de patrones. identificación de problemas, dominio de las matemáticas y la tecnología como herramienta

Así, se presenta la figura 5 como ejemplo y propuesta para desarrollo del PC en la resolución de problemas complejos representando los procesos fundamentales que acontecen en su ejecución a través del ciclo del PC.

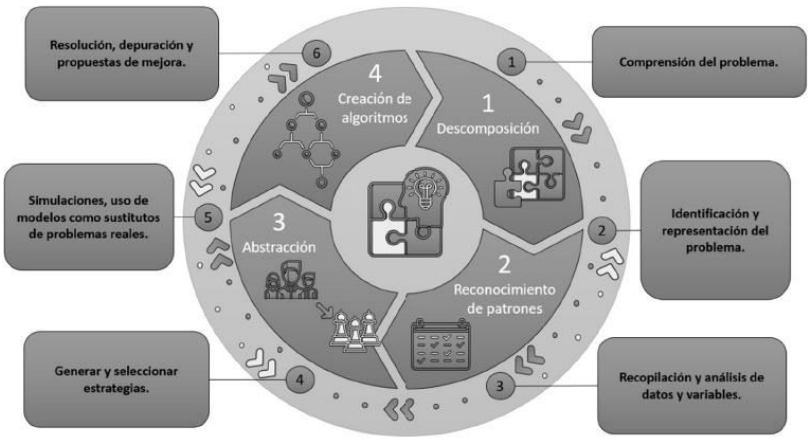


Figura 5. Ciclo del Pensamiento Computacional. En blanco, principales procesos de pensamiento implicados y, en negro, fases de la resolución de problemas aplicando el PC. Fuente: elaboración propia a partir de DIMACS (s. f.) y Ortega-Ruipérez (2020).

Este esquema está dividido en seis pasos o fases en la que destacamos la comprensión del tema asociado a una descomposición del mismo en partes más sencillas, además de la identificación y representación del problema a través del uso de un modelo mental, virtual o físico que sirvan de medio para plantear y desarrollar de estrategias. Esta secuencia sigue la línea de los trabajos de resolución de problemas matemáticos de Polya (1957) con cuatro principios fundamentales: (1) comprender el problema, (2) diseñar un plan para darle solución, (3) ejecutar el plan y (4) revisar si es mejorable.

Definición de Pensamiento Computacional

Acuñado por vez primera por Wing en el año 2006, define el PC como una habilidad para la resolución de problemas y diseñar sistemas para comprender las características del comportamiento humano, apoyándose en conceptos fundamentales de la información, la tecnología y el pensamiento crítico (Wing, 2006). Posteriormente afirmaría que está constituido por los procesos de pensamiento involucrados en la formulación de un problema y en la expresión de su(s) solución(es), de tal manera que un humano o una máquina pueda ejecutarlos (Wing, 2011).

En el 2009 la *Computer Science Teachers Association* (CSTA), junto a *Microsoft*, defendieron que la esencia del PC es pensar en datos e ideas, y usar y combinar estos recursos para resolver problemas. Los maestros pueden alentar a los estudiantes a "pensar computacionalmente" moviendo proyectos tecnológicos más allá del "uso" de herramientas e información hacia la "creación" de herramientas e información (Philips, 2009). Teniendo en cuenta estos aspectos, Bocconi et al. (2016) pusieron de manifiesto que el PC es un proceso de pensamiento, por lo tanto independiente de la tecnología, además de un tipo específico de resolución de problemas que implica capacidades distintas como ser capaz de diseñar soluciones para ser ejecutadas por un ordenador.

Actualmente no existe un consenso en cuanto a la definición y se reconoce la falta de una definición precisa (Iturbide y Lope, 2021). Trabajos como los de Padrón et al. (2021) recopilan definiciones por parte de autores y organismos de más relevancia, como el CSTA (*Computer Science Teachers Association*), ISTE (*International Society for Technology in Education*), INTEF (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado*), The Royal Society* y CAS (*Computing At School*), entre otros. En su análisis, la mayoría de las definiciones hacen énfasis en el PC como un proceso mental. Padrón constata que "en este proceso, el pensador computacional formula interrogantes que le permiten operacionalizar los problemas y darles solución mediante estrategias basadas en el análisis y construcción de algoritmos, y en las cuales aplica sus habilidades y herramientas mentales."

Autores como Yadav et al. (2016) lo definen como "dividir problemas complejos en subproblemas más familiares o manejables (descomposición del problema), usando una secuencia de pasos (algoritmos) para resolverlos, repasando cómo la solución se transfiere a problemas similares (abstracción) y finalmente determinando si una computadora puede resolver esos problemas de manera más eficiente (automatización)". La BBC Bitesize (s. f.), en su sección de recursos educativos, expone que: "nos permite tomar un problema complejo, entender cuál es el problema y presentar soluciones de una manera que una computadora, un humano, o ambos, puedan entender". La Comisión Europea lo asocia a "pensar como un científico informático", utilizando los conceptos de la informática para formular y resolver problemas, "promoviéndose como habilidad o competencia tan fundamental como la aritmética y la lectoescritura" (European Commission, 2016).

Atendiendo a currículos, España contempla el PC como competencia específica, describiendo que "utiliza la descomposición de un problema en partes más sencillas, el

reconocimiento de patrones, la realización de modelos, la selección de la información relevante y la creación de algoritmos para automatizar procesos de la vida cotidiana". En cambio, en Inglaterra viene incluido dentro de los programas de estudio de la computación, enseñando PC a través de la programación.

Teniendo en cuenta las diferentes definiciones nos posicionamos en la línea del Ministerio de Educación y Formación Profesional para definir el PC como:

> Proceso de resolución de problemas a través de su descomposición en partes más sencillas, utilizando modelos y reconociendo patrones, buscando y seleccionando datos e información relevante para crear algoritmos que automaticen y optimicen procesos de la vida cotidiana.

Estudio de la Modelización

Componentes y características de la modelización

La modelización en educación de las ciencias naturales hace referencia a multitud de actividades y recursos, físicos o virtuales, como maquetas, simulaciones, experimentos reales o virtuales, metáforas, analogías, etc. Se sugiere que el aprendizaje dentro de dicho currículo implica: adquirir una comprensión aceptable de qué es un modelo y cómo se lleva a cabo el modelado (Gilbert, 2004), así como su revisión y evolución.

En la figura 6 se representan las características, objetivos y consideraciones de los modelos en educación. El fundamento de estas metodologías parten de considerar los modelos como intermediarios entre la capacidad de los alumnos para interpretar los hechos naturales y los múltiples aspectos de estos hechos que funcionan sustancialmente al representar conexiones semánticas ocultas y organizarlas en un significado integral (Acher et al., 2007).

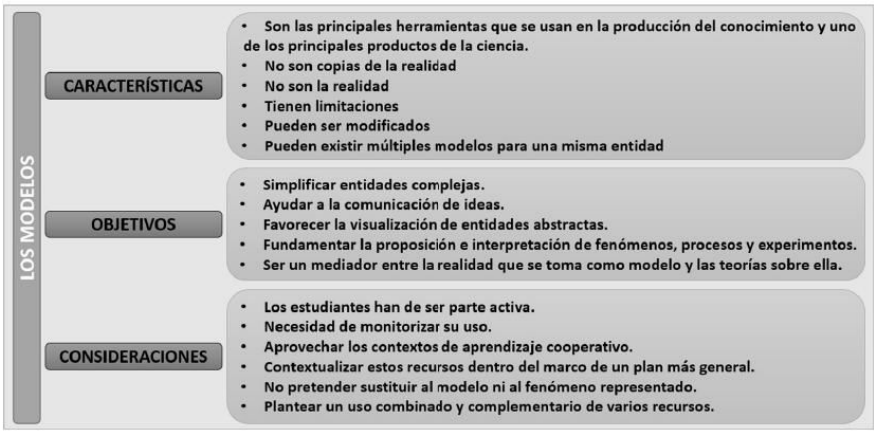


Figura 6. Esquema de las principales características, objetivos y consideraciones de los modelos en ciencias. Fuente: elaboración propia a partir de Caamaño et al. (2011) y Oliva (2021).

Couso et al., (2020) elaboraron un esquema (figura 7) para facilitar las prácticas en modelización y las fases de la enseñanza-aprendizaje centrada en los modelos.

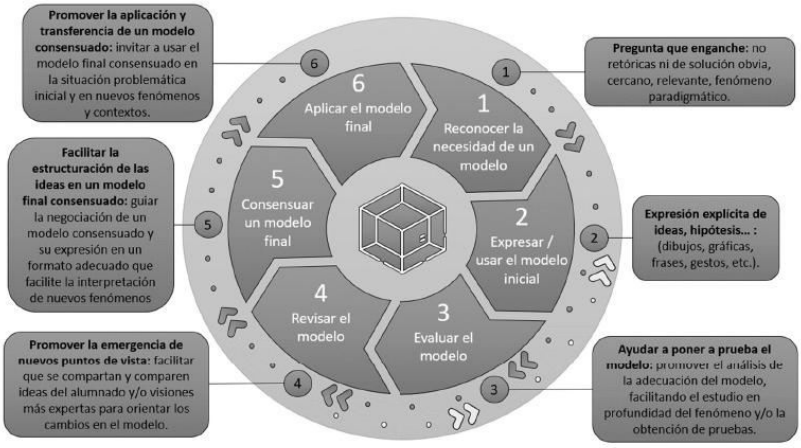


Figura 7. Esquema del ciclo de la modelización. En blanco, prácticas de modelización (alumnado). En negro, fases de la secuencia de enseñanza-aprendizaje centrada en modelizar (profesorado). Fuente: Couso et al. (2020).

Estos ciclos se fundamentan en metodologías de enseñanza-aprendizaje basadas en modelos MBTL (*model-based teaching and learning*) (Gobert y Buckley, 2000) o también la indagación basada en modelos MBI (*model-based inquiry*) (Hernández et al., 2015).

El concepto de Modelización

Modelo y modelización tienen diferentes acepciones y enfoques, jugando todas ellas un papel esencial en la enseñanza de las ciencias (Oliva, 2021). Oliva define la modelización como implementación de recursos instrumentales que permiten representar y manejar modelos. Permite "idear" modelos interpretativos que nos sirvan para describir, predecir, explicar e intervenir en los fenómenos de acuerdo con lo que sabemos y las pruebas disponibles y que puedan transferirse a otros contextos. Esto implica poner el foco en la modelización, es decir, en la expresión, el uso, la evaluación y la revisión de los modelos (Couso, 2020), los cuales podríamos definir como representaciones de un fenómeno, objeto o sistema.

Una definición bastante aceptada considera que la modelización es la representación parcial de un objeto (modelo), un evento, un proceso o una idea, creado con un objetivo específico. (Gilbert et al., 2000). Acorde a esta línea definimos la modelización en ciencias como:

> Diseño y uso de representaciones o ideas, reales o virtuales en constante revisión, que sirven para expresar, desarrollar, predecir y evaluar problemas, situaciones, procesos o conceptos.

Conclusiones

A raíz del análisis de las características y componentes de los tres campos estudiados, los resultados sugieren la existencia de una importante afinidad y facilidad para imbricarse de forma conjunta. La modelización parece ser el eje fundamental tanto en el desarrollo del PC como en la indagación, ya que sirve de base para la creación y desarrollo de un producto propio o colectivo en la resolución de problemas que refuerza la creatividad a medida que se aprende, que genera multitud de destrezas y que podría dar lugar a

emociones positivas en el alumnado. Según Oliva (2019) sería válido el desarrollo de prácticas parciales que involucren sólo una o más etapas del ciclo, esto facilitaría la inclusión de la modelización en los procesos de indagación y PC sin la necesidad que llevar a cabo necesariamente todas las etapas de todos los procesos.

El ciclo de la indagación y la modelización requieren como punto de partida la formulación de una pregunta investigable. Este hecho parece contrastar con el PC pues, a pesar de que existen muchos autores que definen al PC como un proceso para la formulación de problemas, se considera que estos problemas se desarrollan a lo largo de un proceso (o vienen ya dados de inicio forma externa), considerándose el PC como un proceso puramente resolutivo. Así, se sugiere que métodos de investigación ampliamente validados en la educación en ciencias como la modelización e indagación fundamentarían y dotarían de problemas investigables aunando el PC con procedimientos y contenidos de ciencias, propiciando una alfabetización científica y digital que facilitaría la generación de pensamiento crítico en el alumnado. Este hecho junto con la necesidad del currículo de usar en el aula simulaciones interactivas y representar fenómenos de difícil realización experimental, daría respuesta a la necesidad de una formación completa y congruente con el mundo actual en el ámbito educativo, social, económico y cultural.

Se plantea así la necesidad, como propuesta de futuro, de que se desarrollen experiencias educativas STEM con metodologías o protocolos de enseñanza fundamentados en la investigación científica que integren la indagación, el PC y la modelización.

Bibliografía

Acher, A., Arcà, M. y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, *91*(3), 398-418. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.20196

Adell, J., Llopis, M. Á., Esteve, F. y Valdeolivas, M. G. (2019). El debate sobre el pensamiento computacional en educación. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *22*(1), 171-186. DOI: https://doi.org/10.5944/ried.22.1.22303

Barr, D., Harrison, J. y Conery, L. (2011). Computational Thinking: A Digital Age Skill for Everyone. *Learning & Leading with Technology*, *38*(6), 20-23.

Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, *17*(3), 265-278. DOI: https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5

BBC Bitesize. (s. f.). *What is computational thinking? - Introduction to computational thinking - KS3 Computer Science Revision*. BBC Bitesize. Recuperado de: https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zp92mp3/revision/1

Bocconi, S., Chioccariello, A., Dettori, G., Ferrari, A. y Engelhardt, K. (2016). *El Pensamiento Computacional en la Enseñanza Obligatoria (Computhink) by INTEFP Europa—Developing computational thinking in compulsory education—Implications for policy and practice*. Recuperado de: https://issuu.com/ite_europa/docs/2017_0206_computhink_jrc_ue_intef

Caamaño, A. (coord.), Cañal, P., Couso, D., Ametller, J., Justi, R., Sanmartí, N., de Pro, A. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2011). *Didáctica de la física y química*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España.

Cárdenas, Y. B. y Saavedra, R. C. (2017). Desarrollo de la competencia de indagación en Ciencias Naturales. *Educación Y Ciencia*, *20*, 1-15.

Couso, D. (2014). *De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: Una reflexión crítica.* XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (2020). *Enseñando ciencia con ciencia*. FECYT. Recuperado de: https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Crawford, B. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching, 44*(4), 613-642. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.20157

Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science (DIMACS) (s. f.). What Is Computational Thinking? *Computational Thinking for High School Teachers*. Recuperado de: https://ctpdonline.org/computational-thinking

European Commission. Joint Research Centre (2016). *Developing computational thinking in compulsory education: Implications for policy and practice.* Publications Office. DOI: https://doi.org/10.2791/792158

Fernández, F. et al. (2011). *Cuaderno de indagación en el aula y competencia científica—Publicaciones.* Ministerio de Educación y Formación Profesional. Recuperado de: https://sede.educacion.gob.es/publiventa/cuaderno-de-indagacion-en-el-aula-y-competencia-cientifica/ciencia-ensenanza/15094

Furman, M. y Podestá, M. (2009). *La Aventura de Enseñar Ciencias Naturales*. Aique Educación.

Furtak, E. M. (2006). The problem with answers: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, *90*(3), 453-467. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.20130

Fussero, G. B., Occelli, M. y Chiarani, M. (2021). Computational Thinking and Genetic Engineering learning: An Approach from Design Research. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, *30*, 40-50.

Galileo Educational Network. (s.f.). ¿Qué es la Indagación? *Galileo Educational Network*. Recuperado de: https://galileo.org/articles/que-es-la-indagacion

García González, S. M. y Furman, M. G. (2014). Categorización de preguntas formuladas antes y después de la enseñanza por indagación. *Praxis & Saber*, *5*(10), 75. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/pdf/prasa/v5n10/v5n10a05.pdf

García-Fuentes, O. (2022). Educational robotics and computational thinking in early childhood and the home: A study in the digital press. *Digital Education Review*, *41*, 124-139. DOI: https://doi.org/10.1344/DER.2022.41.124-139

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *2*(2), 115-130. DOI: https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4

Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Springer Netherlands. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1

Gobert, J. D. y Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, *22*(9), 891-894. DOI: https://doi.org/10.1080/095006900416839

Grover, S. y Pea, R. (2017). *Computational Thinking: A Competency Whose Time Has Come*. DOI: https://doi.org/10.5040/9781350057142.ch-003

Harlen, W. (2000). *Teaching, learning and assessing science 5-12* (3rd ed.). Paul Chapman Pub. Ltd.

Hazelkorn, E., Ryan, C., Beernaert, Y., Constantinou, C., Deca, L., Grangeat, M., Karikorpi, M., Lazoudis, A., Pintó, R. y Welzel-Breuer, M. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. DOI: https://doi.org/10.2777/12626

Hernández, M. I., Couso, D. y Pintó, R. (2015). Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*, *24*(2), 356-377. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y

Iturbide, J. Á. V. y Lope, M. M. (2021). Analysis of «computational thinking»: An educational approach. *Revista de Educación a Distancia*, *21*(68). DOI: https://doi.org/10.6018/red.484811

Jiménez-Liso, M. R. (2020). *Enseñando ciencia con ciencia*. FECYT. Recuperado de: https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Kalelioglu, F., Gulbahar, Y. y Kukul, V. (2016). A Framework for Computational Thinking Based on a Systematic Research Review. *Baltic Journal of Modern Computing*, *4*(3), 583-596.

Lederman, D. J. S. (2009). Teaching scientific inquiry: Exploration, directed, guided, and opened-ended levels. *In National Geographic Science: Best Practices and Research Base. Hapton-Brown Publishers* (pp. 8-20).

Lederman, J., Lederman, N., Bartels, S., Jimenez, J., Lavonen, J., Blanquet, E., Neumann, I., Kremer, K., Mamlok-Naaman, R., Blonder, R., Gaigher, E., Hattingh, A.-M., Hamed, S., Lin, S., Han Tosunoglu, C. y Yalaki, Y. (2018). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry: Establishing a baseline. *Journal of Research in Science Teaching*, *56*(4), 486-515. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.21512

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S., Jimenez, J., Acosta, K., Akubo, M., Aly, S., Andrade, M. A. B. S. de, Atanasova, M., Blanquet, E., Blonder, R., Brown, P., Cardoso, R., Castillo-Urueta, P., Chaipidech, P., Concannon, J., Dogan, O. K., El-Deghaidy, H., Elzorkani, A., … Wishart, J. (2021). International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: Is progress Being made? *International Journal of Science Education*, *43*(7), 991-1016. DOI: https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1894500

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A. y Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, *51*(1), 65-83. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.21125

Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, *69*, 34-37.

Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato, Pub. L. No. Orden ECD/65/2015, BOE-A-2015-738 6986 (2015). Recuperado de: https://www.boe.es/eli/es/o/2015/01/21/ecd65

Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria, Pub. L. No. Real Decreto 157/2022, BOE-A-2022-3296 24386 (2022). Recuperado de: https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/01/157

National Curriculum in England (2013). *National curriculum in England: Primary curriculum*. GOV. UK. Recuperado de: https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-primary-curriculum

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. The National Academies Press. DOI: https://doi.org/10.17226/4962

National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. National Academy Press. Recuperado de: http://archive.org/details/inquirynationals0000unse

National Research Council. (2010). *Report of a Workshop on the Scope and Nature of Computational Thinking*. DOI: https://doi.org/10.17226/12840

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, *37*(2), 5-24. DOI: https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648

Oliva, J. M. (2021). Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, *5*(2), 1-16. DOI: https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7629

Olivares de Julián, P., Ruíz Oliva, A., Zimmerman, Jose Luis, Mateos, J. A., Salazar Sabaté, F., Moreno León, J., Muntaner Perich, E. y Gómez Ortega, A. (2016). *Educación de las Ciencias de la Computación en España*. FECYT. Recuperado de: https://www.fecyt.es/es/publicacion/educacion-de-las-ciencias-de-la-computacion-en-espana

Ortega-Ruipérez, B. (2020). Pedagogía del Pensamiento Computacional desde la Psicología: Un Pensamiento para Resolver Problemas. *Cuestiones Pedagógicas. Revista de Ciencias de la Educación*, *2*(29), 130-144. DOI: https://doi.org/10.12795/CP.2020.i29.v2.10

Padrón, N. P., Planchart, S. F. y Reina, M. F. (2021). Aproximación a una definición de pensamiento computacional. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *24*(1), 55-76. DOI: https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27419

Philips, P. (2009). *Computational Thinking, a problem solving tool for every classroom—CS & IT Symposium 2008*. Studylib.Net. Recuperado de: https://studylib.net/doc/8116632/computational-thinking---csta

Polya, G. (1957). *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton University Press.

Quiroz-Vallejo, D. A., Carmona-Mesa, J. A., Castrillón-Yepes, A. y Villa-Ochoa, J. A. (2021). Integración del Pensamiento Computacional en la educación primaria y secundaria en Latinoamérica: una revisión sistemática de literatura. *Revista de Educación a Distancia*, *21*(68), 1-33. DOI: https://doi.org/10.6018/red.485321

Resnick, M. y Rusk, N. (2020). Coding at a Crossroads. *Communications of the Acm*, *63*(11), 120-127. DOI: https://doi.org/10.1145/3375546

Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, *92*(5), 941-967. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.20259

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33-35. DOI: https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Wing, J. M. (2011). Computational Thinking. En G. Costagliola, A. Ko, A. Cypher, J. Nichols, C. Scaffidi, C. Kelleher, & B. Myers (Eds.), *2011 Ieee Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (vl/Hcc 2011)* (pp. 3-3). Ieee Computer Soc.

Yadav, A., Hong, H. y Stephenson, C. (2016). Computational Thinking for All: Pedagogical Approaches to Embedding 21st Century Problem Solving in K-12 Classrooms. *TechTrends*, *60*(6), 565-568. DOI: https://doi.org/10.1007/s11528-016-0087-7

Zapata-Ros, M. y Pérez-Paredes, P. (2018). *El Pensamiento Computacional, análisis de una competencia clave*. RED de Hypotheses: El aprendizaje en la Sociedad del Conocimiento.

4.2.3 Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny.

Tabla 18. Publicación 3.

Elemento	Contenido
Referencia	Campina López, A. C., Lorca Marín, A. A., y De las Heras Pérez, M. Á. (2024). Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 21*(1), 1102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102
Revista	*Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* es una revista científica centrada en la investigación sobre la enseñanza y la divulgación de las ciencias, con especial interés en propuestas didácticas, innovación educativa y formación docente. Fundada en España, se publica en acceso abierto y está dirigida tanto a investigadores como a profesionales de la educación científica. Tiene una periodicidad continua y revisión por pares.
ISSN	1697-011X
País	España
Sitio web	https://revistas.uca.es/index.php/eureka
DOI general	10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc
Campo académico	Didáctica de las matemáticas y las ciencias experimentales; Educación en general
Indizada en	Emerging Sources Citation Index (Clarivate), Scopus (Elsevier), Academic Search Ultimate (EBSCO), Fuente Académica Plus (EBSCO), DIALNET, DOAJ (Directory of Open Access Journals)
Evaluada en	LATINDEX. Catálogo v2.0; Sello de calidad FECYT; Directory of Open Access Journals; ERIHPlus (Norwegian Directorate for Higher Education and Skills); ICDS (MIAR)
Métricas	SJR – SCImago (2023): Educación Q3; CiteScore (Scopus, 2023): disponible
Políticas OA	Dulcinea (color Azul); Open Policy Finder (OPF)
Difusión	Presente en 2 bases de datos de citas (c2): ESCI (Clarivate), Scopus (Elsevier) Presente en 4 bases de datos multidisciplinares (m4): Academic Search Ultimate, Fuente Académica Plus, DIALNET, DOAJ Presente en 0 bases de datos especializadas (e0) Presente en 5 recursos de evaluación (x5): LATINDEX, FECYT, DOAJ, ERIHPlus, ICDS (MIAR)
Difusión total	c2 + m4 + e0 + x5

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 21(1), 1102 (2024) FUNDAMENTOS Y LÍNEAS DE TRABAJO

Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny

Alejandro Carlos Campina López
Departamento de Didácticas Integradas, Universidad de Huelva. España.
alejandro.campina@ddi.uhu.com

Antonio Alejandro Lorca Marín
Departamento de Didácticas Integradas, Universidad de Huelva. España.
antonio.lorca@ddcc.uhu.es

Mª Ángeles de las Heras Pérez
Departamento de Didácticas Integradas, Universidad de Huelva. España.
angeles.delasheras@ddcc.uhu.es

[Recibido: 14 febrero 2023. Revisado: 17 marzo 2023. Aceptado: 30 junio 2023]

Resumen: Como primer objetivo, en este artículo se lleva a cabo un análisis bibliométrico que pretende servir como guía de cómo realizar una bibliometría a través de *biblioshiny*, una interfaz del software estadístico *Bibliometrix*. Para ello, se ha usado como ejemplo una búsqueda donde se detalla la metodología, procedimientos y estrategias utilizadas para responder a las preguntas de investigación y así conocer, como un segundo objetivo, qué trabajos desarrollan conjuntamente el Pensamiento Computacional, la Modelización y la Indagación en el área de ciencias. Utilizando métodos estadísticos cuantitativos de visualización de datos, se pretende conocer a los autores y revistas más relevantes y sus índices de impacto, así como las temáticas principales y su evolución temporal para saber qué y cómo se trabaja en este campo de estudio. Los resultados indican que en los 31 artículos seleccionados la modelización es uno de los temas motores llevándose a cabo a través de la investigación, construcción y diseño de simulaciones en entornos digitales a través de la programación basada en bloques.

Palabras clave: bibliometría; bibliometrix; modelización; pensamiento computacional; indagación; didáctica de las ciencias experimentales.

Inquiry, modelling and computational thinking: A bibliometrical review using bibliometrix through biblioshiny.

Abstract: As its first objective, this article carries out a bibliometric analysis aimed at serving as a guide on how to conduct bibliometrics using Biblioshiny, an interface of the Bibliometrix statistical software. To achieve this, a search has been used as an example, detailing the methodology, procedures, and strategies employed to address research questions and, as a secondary objective, to understand which works jointly develop Computational Thinking, Modelling, and Inquiry in the field of sciences. By utilizing quantitative statistical methods for data visualization, the intention is to identify the most relevant authors and journals, along with their impact indices, as well as the main thematic areas and their temporal evolution, in order to gain insights into what is being studied and how in this field. The results indicate that modelling is one of the salient themes among the 31 selected articles, accomplished through research, construction, and design of simulations in digital environments using block-based programming.

Keywords: bibliometrics; bibliometrix; modelling; computational thinking; inquiry; science education learning.

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias
Universidad de Cádiz. APAC-Eureka. ISSN: 1697-011X
http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102
http://reuredc.uca.es

Para citar este artículo: Campina-López, A., Lorca-Marín, A. A. y De las Heras Pérez, M. A. (2024) Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 21*(1), 1102. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102

Introducción

El vertiginoso avance de las tecnologías ha motivado el desarrollo de herramientas y aplicaciones útiles que facilitan el trabajo a los investigadores en la elaboración bibliometrías y de revisiones sistemáticas (RS). *Bibliometrix* (desarrollado por Aria y Cuccurullo, investigadores de la Universidad de Nápoles) es un software programado en R (entorno y lenguaje de programación centrado en el análisis estadístico) con una interfaz sencilla e intuitiva gracias a la aplicación *Biblioshiny*, que facilita la realización, obtención, representación y tratamiento de datos estadísticos de búsquedas bibliográficas sin el requerimiento de saber programar en código. La bibliometría es la aplicación de análisis cuantitativo y estadístico a publicaciones como artículos o comunicaciones de revistas que facilita el tratamiento de grandes volúmenes de información que, a diferencia de otras técnicas, proporciona análisis más objetivos y fiables (Aria & Cuccurullo, 2017) centrándose en el análisis de patrones y en los flujos de información documental, que caracterizan y contribuyen a la mejora de la actividad científica (Mokhnacheva & Tsvetkova, 2020). Además, el uso de la bibliometría relacional a través de métodos de visualización de datos resulta ser útil para delinear temáticas, publicaciones y autores proporcionando una mayor capacidad para analizar y comprender un campo de estudio (Ninkov et al., 2022)

A diferencia de la bibliometría, la RS es un diseño de investigación cuantitativo y cualitativo donde, a través de varios de métodos estructurados y sistemáticos, conducen a la selección de un conjunto de documentos válidos, útiles y relevantes sobre un tema o materia específica que permiten abordar preguntas e identificar problemas en la investigación primaria que deben ser corregidos en futuros estudios y generar o evaluar teorías sobre cómo o por qué ocurren fenómenos de interés (Yepes-Nuñez et al., 2021). Tanto la bibliometría como las RS llegan a ser herramientas de trabajo al servicio del conocimiento, siendo éstas de carácter integrativo, observacional y retrospectivo.

El análisis de los documentos recopilados se traduce en un informe o documento que busca dar respuesta a cinco preguntas clave: ¿qué se ha buscado?, ¿cómo se ha buscado?, ¿dónde se ha buscado?, ¿cuáles son los resultados útiles de esa búsqueda? y ¿por qué son útiles y relevantes dichos resultados? (Gálvez, 2002).

Además de la elaboración de una guía de cómo realizar una bibliometría con el uso de un software para el tratamiento de datos bibliométricos y sugiriéndose como un primer paso hacia una posterior RS, el otro objetivo de este estudio es conocer qué artículos trabajan de forma conjunta directa o indirectamente el Pensamiento Computacional (PC), la indagación y la modelización en el área de ciencias en la última década, pudiendo servir como una aproximación hacia un marco conceptual para el diseño de metodologías o estrategias para su enseñanza.

El estudio de la indagación, el pensamiento computacional y la modelización

Indagación, PC y modelización fueron objeto de estudio en Campina, Lorca-Marín y De las Heras (2023) donde se puso de manifiesto el grado de idoneidad y convergencia de estos tres conceptos para ser trabajados conjuntamente para la adquisición de competencias

y destrezas propias del quehacer científico. Rescatando las definiciones aportadas: la enseñanza en indagación es un modelo didáctico que genera situaciones de enseñanza-aprendizaje a partir de la formulación de problemas investigables donde se propone que el alumnado realice rigurosos procedimientos que permiten la construcción y diseño de modelos explicativos para sustentar y comunicar conclusiones y teorías. Su estudio se considera relevante dadas las dificultades que presentan los estudiantes en los que se evidencia como debilidad la competencia de indagación en Ciencias Naturales (Cárdenas & Saavedra, 2017). Por otro lado, se define el PC como un proceso de resolución de problemas a través de su descomposición en partes más sencillas, utilizando modelos y reconociendo patrones, buscando y seleccionando datos e información relevante para crear algoritmos que automaticen y optimicen cualquier tipo de proceso. La importancia de su estudio va ligada a la necesidad de su implementación pues, a pesar de su potencial educativo, se considera que carece de una base didáctica y dado el creciente rol que ocupa la informática en la educación, la comprensión de cómo las personas interactúan con las computadoras y el interés que suscita como área de investigación en educación (Fussero et al., 2021) y como competencia específica en el currículo (R.D. 217/2022), se considera relevante e interesante su desarrollo junto a otras estrategias de enseñanza. Por último, la modelización es el diseño y uso de representaciones o ideas, reales o virtuales en constante revisión, que sirven para expresar, desarrollar, predecir y evaluar problemas, situaciones, procesos o conceptos. El interés que suscita su estudio radica, entre otros, en que los modelos pueden ser importantes para el logro de la comprensión conceptual en la ciencia a un nivel que va más allá de la memorización de hechos (Oliva, 2019).

Además, se espera que este estudio pueda servir como fundamentación de futuros trabajos dando respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las cuestiones y problemas que se han investigado?
2. ¿En qué años está teniendo más o menos repercusión la temática?
3. ¿Qué fuentes-revistas escriben sobre ello?
4. ¿Quiénes son los autores más destacados que escriben sobre ello?
5. ¿Cuáles son los conceptos e ideas clave del tema?
6. ¿Qué perspectivas de futuro se plantean?

Para que sirva de ejemplo, presentamos en este trabajo una de las diversas búsquedas que se han realizado para el estudio.

Metodología

Este trabajo sigue las líneas del protocolo o declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Se trata de conjunto de normas a través de una lista de comprobación de los ítems a incluir en este tipo de estudios. Aunque no es un instrumento de evaluación de calidad, es una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis (Moher, 2009).

Definición del problema

En relación con la pregunta 1, se plantea ¿qué estudios existen y cómo se trabajan de manera conjunta el pensamiento computacional (PC), la modelización y la indagación en el área de las ciencias? ¿de qué forma se están llevando a cabo?

Criterios de elegibilidad

En nuestro caso, ante la escasez de documentos en español que aborden estas tres metodologías, se realizará una búsqueda de documentos en inglés. Para la mejorar la calidad se consideran normalmente artículos y revisiones, las cuales seleccionaremos desechando capítulos de libros y actas de congresos. Además, usualmente es recomendable (dependiendo del objeto de estudio) poner el foco en lo publicado en la última década, por lo que se escogerán aquellos comprendidos entre 2012-2022.

Bases de datos

El objetivo de este tipo de investigaciones es cubrir la máxima información científica y académica sobre el objeto de estudio. Para ello existen diferentes bases de datos que debemos seleccionar; las hay de carácter generalista (Scopus, Web of Science (WoS), Dialnet…) y otras más específicas según el área (ERIC para el ámbito educación, *Medline* para el ámbito sanitario…). Lo ideal es trabajarlas todas de forma conjunta. Para que sirva de ejemplo usaremos WoS y Scopus dados sus altos índices de calidad y prestigio.

Palabras clave y el uso de tesauros

Una vez definida la pregunta de investigación, ha de transformarse en una ecuación de búsqueda para las que han de seleccionarse las palabras clave que mejor representen el objetivo de nuestra investigación a partir de nuestra pregunta planteada.

Los tesauros sirven de ayuda para dar consistencia y rigor a la investigación, traduciendo los términos al lenguaje documental y para además ver si existen sinónimos o palabras alternativas más apropiadas para la búsqueda. Las webs más utilizadas en nuestro campo son el Tesauro ERIC o el Tesauro de la UNESCO. No utilizar tesauros para guiar una búsqueda equivale a adivinar qué términos utilizan los indexadores (Hertzberg & Rudner, 1999). Dicho esto, es posible que no aparezcan algunas palabras clave en los tesauros, pero eso no quiere decir que hayan de ser descartadas. Por ello, se aconseja en un preanálisis conocer qué palabras clave usan comúnmente los autores de nuestro estudio para tenerlas en cuenta en nuestra búsqueda. Las palabras clave seleccionadas fueron "computational thinking", "inquiry" y algunas de las formas más comunes de referirse a la modelización: "model", "modelling", "modelling resources".

Ecuación de búsqueda

Una ecuación de búsqueda es la formulación estructurada de las expresiones de búsqueda en la que se tienen que considerar diversos operadores booleanos, rangos de valores, limitadores, truncamientos, caracteres comodín y los paréntesis (Salmerón, 2016). Una vez seleccionadas nuestras palabras clave, debemos ser rigurosos en su construcción puesto que cualquier detalle, cambio u omisión de sus componentes puede variar significativamente los resultados de la búsqueda. Los operadores booleanos siempre han de escribirse en mayúscula entre las palabras clave y los más básicos se resumen y describen en la (tabla 1).

Tabla 1. Esquema con los principales operadores booleanos. Elaboración propia a partir de (Salmerón, 2016).

Operador	Descripción	Ejemplo	Resultados
AND	Operador de intersección: Une, reduce y especifica. Se incluyen todos los términos.	 indagación AND ciencias	Temas sobre indagación en ciencias.
OR	Reunión o Suma Lógica: Amplía las opciones de búsqueda indistintamente para varios conceptos.	 indagación OR ciencias	Temas sobre indagación o ciencias, indiferentemente.
NOT	Negación: Excluye el término o expresión que le sigue.	 indagación NOT ciencias	Temas de indagación, pero no en ciencias.

Cuanto más precisa sea la ecuación de búsqueda, mejores resultados obtendremos. En nuestro caso, ante la escasez de documentos en español que aborden estas temáticas, realizaremos la búsqueda de documentos usando palabras clave en inglés introduciéndolas en WoS y Scopus a través de la opción de búsqueda avanzada, concretando la siguiente ecuación de búsqueda:

Ecuación de búsqueda: ALL=((computational thinking AND (model OR modelling OR modelling resources) AND inquiry))

Criterios de selección

Se seleccionarán aquellos que se centren en propuestas e investigación educativa en el área de investigación "*Education educational research*" y que trabajen directa o indirectamente los tres conceptos en el área de ciencias o para proyectos STEM (*Science, Technology, Engineering and Maths*).

Instalación del software *Bibliometrix*

1. Descargar e instalar R en: https://cran.r-project.org/ seleccionando el sistema operativo correspondiente, clicando en «Install R for the first time» y a continuación en «Download R».
2. Descargar R-Studio en: https://posit.co/ e instalar. Una vez instalado, ejecutar R-Studio.
3. El siguiente paso es instalar el paquete de *Bibliometrix* en R. Una vez ejecutado R-Studio, en la consola de comandos izquierda debemos escribir: **install.packages("bibliometrix")** y pulsar la tecla «intro».
4. Una vez instalado el paquete *Bibliometrix*, debemos escribir en la misma consola de comandos anterior los siguientes dos comandos y para cada uno de ellos pulsar la tecla «intro»:

```
library(bibliometrix)
biblioshiny()
```

La interfaz se abrirá automáticamente en nuestro navegador predeterminado (Salinas, 2020).

Resultados y discusión

Tras la aplicación de la ecuación de búsqueda en WoS hemos tenido en cuenta todos los campos (título, palabras clave, autores…) identificando un total de 98 artículos. Llegados a este punto se aplicarán los criterios de selección definidos a la muestra. Para el primer cribado, en la base de datos, o a través del uso de gestores bibliográficos (Zotero, RefWorks, Mendeley, etc.) se exportan y se descartan los artículos duplicados (1). En el menú izquierdo «refinar resultados» seleccionamos los documentos comprendidos entre los años 2012 y 2022, descartándose (1) y obteniéndose un total de 96. En el mismo panel, se seleccionan únicamente las temáticas que se centren en "*Education educational research*". En este sesgo se descartan (42) y pasamos a un total de 54 artículos los cuáles tras su lectura se han rechazado un total de (23) documentos al seleccionar aquellos que realmente se ajustan a nuestra búsqueda, resultando finalmente un total de 31 artículos. Hemos repetido el proceso con la misma ecuación de búsqueda en *Scopus*, obteniendo 5 artículos de los cuales sólo 1 se ajusta a los criterios de selección, pero duplicado con respecto a la búsqueda en la anterior base de datos y por ello descartado. Así, representamos los artículos definitivamente incluidos en un diagrama de flujo de la búsqueda según el protocolo PRISMA (figura 1).

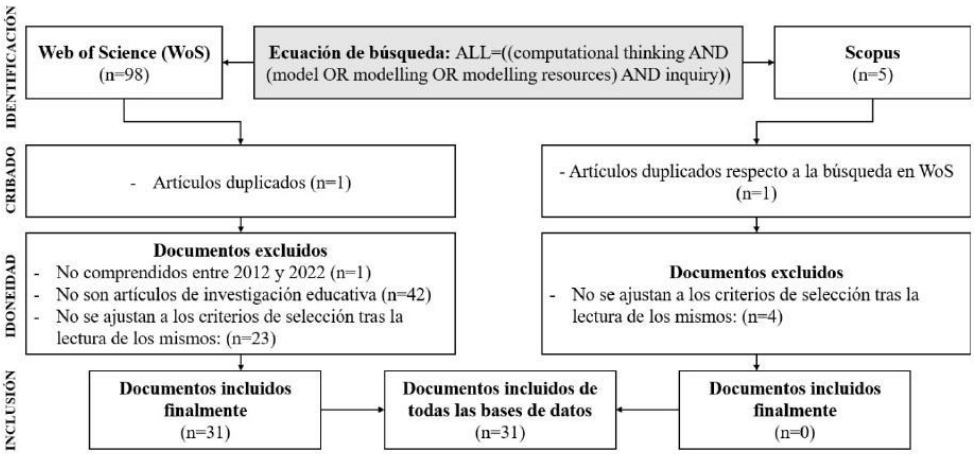


Figura 1. Ejemplo de diagrama de flujo de la búsqueda realizada según el protocolo PRISMA.

Una vez obtenidos los 31 documentos definitivos procedemos a exportarlos a *Bibliometrix* con la finalidad de realizar un análisis estadístico cuantitativo de los parámetros anteriormente mencionados. En nuestra base de datos se seleccionan todos los documentos y en el botón de exportar y lo haremos en formato BibTeX (ya que es un formato internacional e interoperable en bases de datos, así como para utilizar con cualquier gestor bibliográfico) seleccionando que incluya todos los registros y referencias citadas (figura 2) con la finalidad de poder trabajar con todos los datos disponibles.

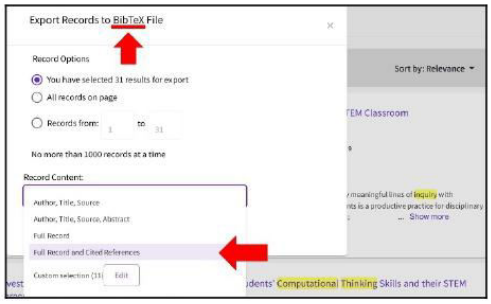


Figura 2. Selección de parámetros en WoS para la exportación de nuestros documentos a *Bibliometrix*.

Una vez lo exportamos, ejecutamos Biblioshiny y seguimos los pasos que se indican en la (figura 3, A) con la finalidad de volcar el contenido al software, seleccionamos «*Import Raw Files*» y cargamos el archivo (.bib) que hemos generado en nuestra base de datos. Si hubiera que unificar artículos de varias bases de datos, se aconseja cargarlos en un gestor de referencias, unirlos allí y exportarlos como un único archivo en formato BibTeX.

A partir de aquí transformaremos nuestros documentos en datos. Para una visualización preliminar, pulsamos «*Overview*» y «*Main information*» (Figura 3, B) para ver de forma general información que pueda resultar de interés acerca de nuestros documentos: rango cronológico (2014-2022), el número de fuentes (18), número de palabras clave aportadas por los autores (131), número autores (94), media de citaciones por documento (26,1), etc.



Figura 3. Figura que explica gráficamente los diferentes pasos y parámetros a realizar para el tratamiento de la información en la interfaz de Biblioshiny. (A) se explica cómo cargar el archivo, (B) se explica cómo visualizar características generales de nuestros documentos, (C) se explica cómo realizar el gráfico de tres campos para correlacionar diferentes parámetros, (D) se explica cómo representar el gráfico de producción científica anual.

Otra forma de representar datos generales y empezar a correlacionar cuantitativamente distintos parámetros es a través del gráfico de tres campos. En la misma sección anterior, pulsamos «*Three-Field Plot*» (Figura 3, C) y a la derecha tenemos los parámetros que

pueden ser modificados según nuestras necesidades tanto en el campo a correlacionar (autores, países, documentos, etc.) como número de ítems. En nuestro caso, hemos representado los autores más citados (CR) autores que más han publicado sobre nuestro objeto de estudio (AU) y las palabras clave introducidas por los autores (DE) (figura 4).

De esta forma comprobamos que además de Wing J. y Papert S. (principales precursores del PC), destacan Sengupta P. y Wilensky U. como los autores más citados. Wilensky, desarrollador de entornos virtuales educativos como *NetLogo*, posee además artículos dentro de la muestra, un dato que sugiere la relevancia del autor en el campo de estudio y que nos puede ayudar a desarrollar un marco intelectual que, junto a los autores más prolíficos de la muestra (Kim C.M. y Vasconcelos I., que publican conjuntamente) y atendiendo a los artículos seleccionados revisados así como las principales líneas de trabajo de sus autores, podríamos concretar que los documentos de nuestra investigación se fundamentan principalmente en la construcción y diseño de modelos computacionales o simulaciones en entornos digitales para la investigación en ciencias y la resolución de problemas complejos realizados mediante la programación en bloques en niveles educativos K-12 (hasta doce años).

Esta afirmación se refuerza al considerar el tercer parámetro seleccionado donde se relacionan autores (AU) con las principales palabras clave de los autores (DE) de nuestra muestra (*simulations*, *block-based coding, scientific modeling, computational thinking*, *design-based research*). Esta información definiría parte de nuestro marco conceptual dando por un lado respuesta al principal campo ontológico y epistemológico, y por otro algunos de los conceptos e ideas clave de nuestro tema de estudio.

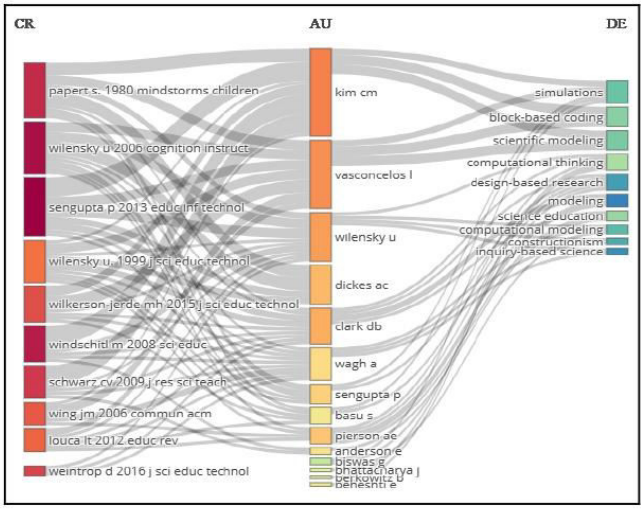


Figura 4. Gráfico de tres campos donde se muestran correlaciones entre: (CR) los autores más citados, (AU) los autores de los artículos seleccionados y (DE) descriptores con las palabras clave más comunes.

Para dar respuesta a la pregunta 2, para conocer en qué años está teniendo más o menos repercusión la temática, en la misma sección anterior seleccionamos «Annual Scientific Production» (Figura 3, D), observando el número de documentos por año y la tasa de crecimiento anual (27,54%). En nuestro gráfico (figura 4) el año más prolífico fue 2022, con 7 artículos. Existe un incremento gradual que lleva produciéndose ininterrumpidamente desde el año 2019. A pesar de que el volumen de documentos con los

que se trabaja es bajo, se sugiere considerarlo un tema de actualidad teniendo en cuenta el grado de especificidad del objeto de estudio y su tasa de crecimiento.

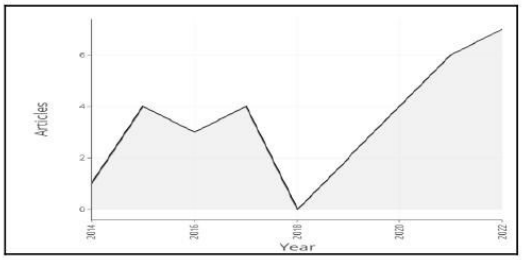


Figura 5. Gráfico de la producción científica anual.

Buscando respuesta a la pregunta 3, en lo que respecta a las fuentes principales, en la (figura 6, E) se detalla el procedimiento para representarlas. En el gráfico generado (figura 7) destacamos las principales fuentes, donde *Journal of Science Education and Technology* (6), *Journal of Research Science Teaching* (5), *Science Education* (3) se postulan como las que más documentos aportan a nuestro objeto de estudio.

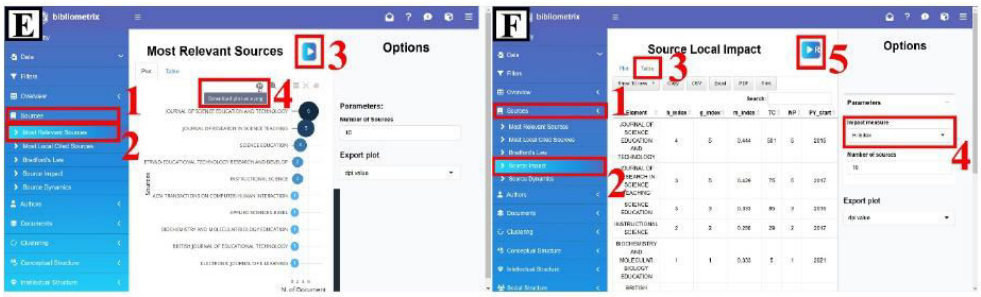


Figura 6. (E) Se explica cómo representar el gráfico de las fuentes principales y (F) se explica cómo realizar la representación de la tabla del índice de impacto "h" de las fuentes de la investigación.

La fuente principal, *Journal of Science Education and Technology* (JSTOR), es un medio internacional e interdisciplinar donde se reconoce el creciente papel de la tecnología como un componente de la educación científica tanto en la comprensión como en el desarrollo de la ciencia, siendo fuente referencial a tener en cuenta a la hora de trabajar este campo.

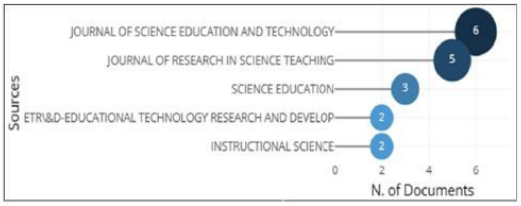


Figura 7. Gráfico donde se representan las fuentes principales en base al número de artículos que aportan a nuestra investigación.

Element	h_index	g_index	m_index	TC	NP	PY_start
JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION AND TECHNOLOGY	4	5	0.444	501	5	2015
JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING	3	5	0.429	75	5	2017
SCIENCE EDUCATION	3	3	0.333	85	3	2015
INSTRUCTIONAL SCIENCE	2	2	0.286	29	2	2017
BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY EDUCATION	1	1	0.333	5	1	2021
BRITISH JOURNAL OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY	1	1	0.200	7	1	2019
ELECTRONIC JOURNAL OF E-LEARNING	1	1	0.125	27	1	2016
ETR\&D-EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT	1	2	0.250	4	2	2020
FRONTIERS IN HUMAN NEUROSCIENCE	1	1	0.100	27	1	2014
INTERNATIONAL JOURNAL OF EDUCATION AND INFORMATION TECHNOLOGIES	1	1	0.111	3	1	2015
JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION	1	1	0.250	10	1	2020
JOURNAL OF SCIENCE TEACHER EDUCATION	1	1	0.333	10	1	2021
LEARNING AND MOTIVATION	1	1	0.500	3	1	2022
PROBLEMOS	1	1	0.200	5	1	2019
RESEARCH IN SCIENCE EDUCATION	1	1	0.111	18	1	2015

Figura 8. Se representa el nivel de impacto de las fuentes consultadas respecto al índice h.

Además, podemos conocer el índice de impacto (index_h) de JSTOR (4) en nuestro estudio, así como del resto de nuestras fuentes como se explica en la (figura 6, F) y se presenta en la (figura 8). El índice de impacto h permite detectar los autores o fuentes más destacadas de una disciplina. El "g_index" y "m_index" son variaciones del "h_index" con menos uso. Otros campos relevantes son (TC) que son las veces que han sido citados, (NP) el número de publicaciones y (PY_start) indica el año en el que comienza a publicar sobre nuestro tema. De este modo, se delimitaría el núcleo de nuestra área de investigación en base a las cuatro primeras revistas (JSTOR, *Journal of Research in Science Teaching*, *Science Education* e *Instructional Science*).

En cuanto a la pregunta 4 que hace referencia a los autores principales, este software nos permite conocer el índice de impacto de los autores más importantes tanto a nivel global (dentro y fuera de nuestro campo de estudio) o local (nos aporta datos del impacto del autor dentro de los artículos que estamos trabajando). En la (figura 9, G) y (figura 9, H) se exponen los pasos a ejecutar para representar a los autores más relevantes su nivel de impacto respectivamente.

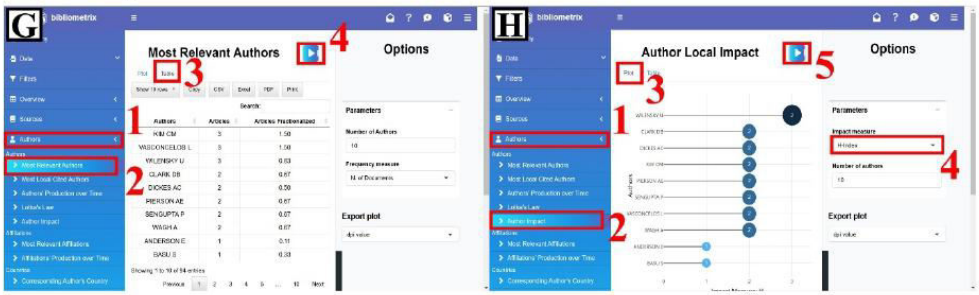


Figura 9. (A) Relación de autores con mayor número de publicaciones y (B) los autores de la muestra respecto a su índice de impacto h.

En la (figura 10, A) se presentan los autores que mayor número de artículos han aportado destacando a Kim C. M. (3), Vasconcelos L. (3) y Wilensky U. (3). En la (figura 10, B) se presentan a los autores atendiendo a su índice de impacto h, donde destaca Wilensky (3) sobre el resto.

A

Authors	Articles	Articles Fractionalized
KIM CM	3	1.50
VASCONCELOS L	3	1.50
WILENSKY U	3	0.83
CLARK DB	2	0.67
DICKES AC	2	0.50
PIERSON AE	2	0.67
SENGUPTA P	2	0.67
WAGH A	2	0.67
ANDERSON E	1	0.11
BASU S	1	0.33

B

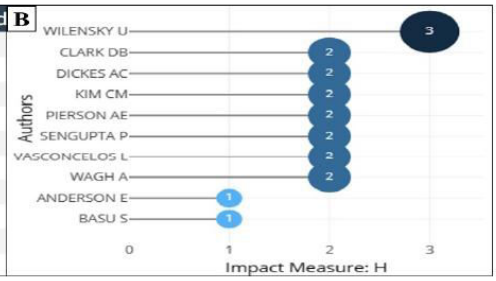


Figura 10. (A) Relación de autores con mayor número de publicaciones y (B) los autores de la muestra respecto a su índice de impacto h.

En referencia a la pregunta 5, para conocer cuáles son las temáticas principales *Bibliometrix* nos permite analizar estructuras conceptuales a través de mapas temáticos. En la (figura 11, I) se definen los pasos para su representación, ajustando los parámetros según al número de etiquetas o palabras que nos interese tener en cuenta y seleccionaremos las palabras clave de los autores y como algoritmo de agrupamiento seleccionamos "*Edge Betweenness*" que representa la centralidad, cuantificando el número de veces que un nodo se encuentra en puntos más cercanos y centrales de nuestra red. Esta técnica está basada en redes de palabras y cada red está representada por términos representados en diferentes cuadrantes. El cuadrante lo conforman dos ejes indicadores de densidad (vertical) y centralidad (horizontal). El cuadrante 1 (en la parte superior izquierda) representa los temas periféricos; se tratan de temas vinculados a los principales, pero de escasa aparición. El cuadrante 2 (parte superior derecha) indica los principales temas de la investigación denominados temas motores. El cuadrante 3 (parte inferior izquierda) representa los temas que están emergiendo o bien pueden estar en declive. Por último, el cuadrante 4 representaría los temas básicos que se consideran temáticas transversales (López-Robles et al., 2019). Para realizarla, seguiremos el ejemplo de la (figura 11, I) atendiendo a los parámetros para representarla lo mejor posible donde se aconseja utilizar como campo las palabras clave de los autores "*Author's Keywords*"

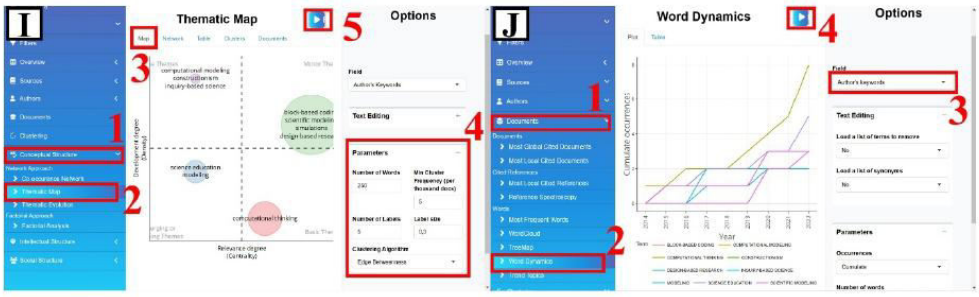


Figura 11. (I) Gráfico donde se explica cómo representar el mapa temático con palabras clave de autores, (J) gráfico donde se explica cómo representar un mapa temático en forma de red con palabras clave de autores.

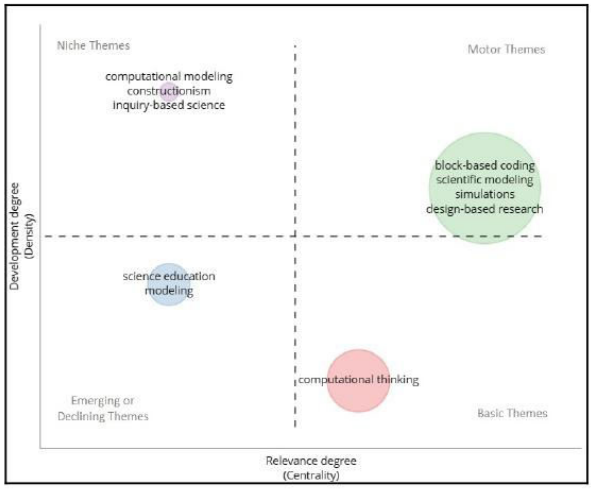


Figura 12. Mapa temático con las palabras clave de los autores.

Los principales temas motores (figura 12) son enseñanza a través de simulaciones, *block-based coding*, *design-based research* y *scientific modeling*. Estas palabras clave aportarían información acerca no sólo de qué se está trabajando principalmente en este campo, sino que además nos diría, en nuestro caso, cómo y a través de qué medios se están poniendo en marcha proyectos que aúnan los tres campos de estudio.

Como temas periféricos se encuentran las ciencias basadas en la indagación, la modelización computacional y el construccionismo (en el cual se fundamentan para el desarrollo de enseñanzas basadas en la modelización, PC y la propia enseñanza basada en la indagación). Los temas emergentes y en declive vienen representados por la modelización y la educación en ciencias. Es complicado poder concretar con estos datos cuáles están en declive o son emergentes, pero se sugiere que ambos son emergentes pues, a raíz de la lectura de los documentos y los datos que se aportan, la modelización o el aprendizaje basado en modelos está cada vez trabajándose de forma más intrínseca en el desarrollo del PC, siendo la modelización un concepto siempre presente que se manifiesta en la literatura recopilada como tal o como «modelización científica» o «modelización computacional». Del mismo modo, se considera que cada vez más frecuentemente existen más proyectos STEM, englobando la «educación en ciencias» de forma transversal y pudiendo denotar una desaparición terminológica, pero en ningún momento una desaparición de la disciplina en sí.

Por último, en relación con la pregunta 6, para dar respuesta aproximada a las perspectivas de futuro a través de *Bibliometrix* se plantea representar el diagrama "Words Dynamics" (figura 11, J) para conocer de forma general la evolución de los temas de la muestra y ver cuáles se están trabajando más en los últimos años.

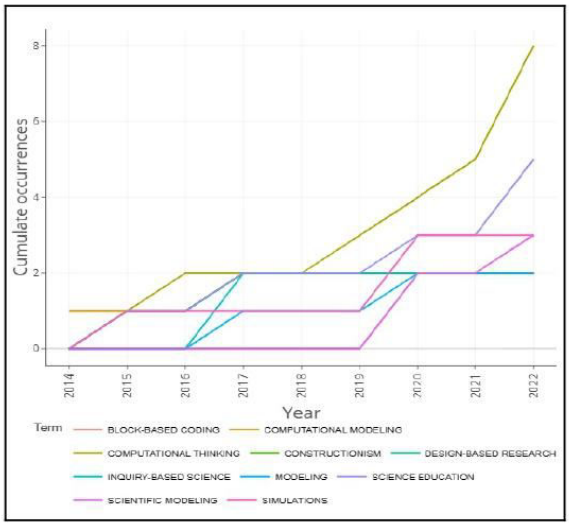


Figura 13. Mapa temático con la correlación de palabras clave de los autores.

El gráfico (figura 13) muestra los conceptos de PC, enseñanza de las ciencias y las simulaciones junto con la modelización científica, aportando más datos y sugiriendo una tendencia actual hacia la construcción y diseño de herramientas e instrumentos para comprender aspectos de la ciencia aplicando el pensamiento computacional.

Conclusiones

La realización de esta guía ha puesto de manifiesto la gran potencialidad que tiene el uso de este tipo de herramientas para la elaboración bibliometrías y de revisiones sistemáticas. Gracias a *Biblioshiny*, su sencilla interfaz intuitiva, *Bibliometrix* se considera una ayuda de gran relevancia a la hora de trabajar grandes cantidades de información para estructurar marcos conceptuales e intelectuales a través de análisis de datos cuantitativos con sus representaciones gráficas. Del mismo modo posee limitaciones a la hora de trabajar ciertos campos (metodologías de investigación, niveles educativos…). Sin embargo, la interfaz nunca debe sustituir (más bien sí complementar) el trabajo de lectura y revisión del investigador el cual se considera fundamental. Así, en una lectura profunda de la revisión, obtenemos que la mayoría de estos estudios se centran en niveles K-12 (hasta 12 años), la mayoría de los documentos son metodologías de investigación centrada a estudios de caso y que los métodos principales de enseñanza que se llevan a cabo en las aulas se relacionan con la ciencia basada en modelos (MBS) o basadas en la indagación científica.

En cuanto al alcance de estos resultados, este estudio es sólo un ejemplo de varias búsquedas realizadas y, aunque contando con un número no muy elevado de documentos y que se ha trabajado con sólo 2 bases de datos (Scopus y WoS), el nivel de calidad de estas se considera óptima, amplia y representativa.

La modelización

En lo que respecta al campo de la modelización, los resultados que ofrece el mapa temático lo colocan como uno de los temas motores (simulaciones, modelización científica, investigación basada en el diseño y modelización computacional) y consideramos que se

ubica como eje o punto de unión fundamental entre la indagación y el PC para desarrollo, estudio y diseño de herramientas o simulaciones enfocadas a adquirir contenidos de ciencias para construir, probar, evaluar y revisar sus propios modelos de fenómenos científicos a la vez que persiguen un objetivo epistémico. Los resultados muestran que la mayoría estas representaciones se desarrollan en entornos virtuales e incluso se considera señalar que algunos estudios confunden indistintamente la modelización computacional con el concepto y aplicación del PC.

El Pensamiento Computacional

Los resultados que ofrecen los 31 artículos seleccionados muestran una tendencia ascendente en cuanto al número de artículos que trabajan el PC en el último lustro, sugiriéndose como la temática de más actualidad. Sin embargo, los resultados que aportan el gráfico de tres campos y el mapa temático muestran que este número podría ser mayor por una confusión terminológica entre PC y modelización computacional. Del mismo modo, se sugiere que existe cierto grado de confusión entre el manejar o diseñar un programa informático y el estar aplicando el PC. En esto nos basamos a raíz de la definición aportada en este trabajo sobre el PC, pues en los documentos seleccionados se considera que se trabaja al menos parcial o total puesto que muchos de ellos usan características relacionadas con el mismo, como abstracciones y descomposiciones, haciendo y probando iterativamente cambios menores en el código a través de métodos por ensayo y error, o aplicando lógicas resolutivas y algoritmos dentro del diseño de juegos y resolución de problemas a través de simulaciones en entornos de programación por códigos (*NetLogo*) o, en su gran mayoría (como sí reflejan los resultados obtenidos), por programación basada en bloques (*Scratch, MakeCode* y *Tinkercad,* entre otros).

La indagación

Tras la lectura de los documentos seleccionados, se considera que la fundamentación metodológica de la mayoría de los artículos viene dada a raíz del uso de la indagación en las aulas de ciencias en torno a una problemática para, posteriormente, programar y desarrollar estrategias para la resolución de problemas complejos que se solventan a través de la modelización y PC. Sin embargo, como se muestra en el análisis a través del mapa temático, la indagación se encuentra en el primer cuadrante estando asociada a los temas motores (simulaciones, *block-based coding* (programación basada en bloques), *design-based research* y *scientific modeling*.) pero tiene escasa aparición. Dado el aspecto "abierto" de la indagación, la mayoría de estos trabajos involucran a los estudiantes investigando preguntas y problemas significativos que son ricos en contenido y que no tienen una sola respuesta correcta o que requieren diferentes enfoques para trabajarlos.

Así, los resultados muestran un número notable de artículos que de forma directa o indirecta están llevando a cabo propuestas que aúnan estos conceptos manifestando en gran parte su viabilidad. Aun así, ante la poca concreción que se manifiesta para enseñar el PC en ciencias y la necesidad que suscita a la comunidad científica llevar a cabo indagación y modelización como algunos de los ejes fundamentales del quehacer científico, en cuanto a las perspectivas de futuro, se sugiere que su implementación precisa un estudio y una fundamentación didáctica para poder desarrollar metodologías o protocolos de enseñanza que puedan facilitar a los docentes el diseño de investigaciones en proyectos STEM en las aulas de ciencias.

Agradecimientos

Esta publicación forma parte del proyecto de tesis adscrita al Programa Oficial Interuniversitario de Doctorado en Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de la Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y de la Actividad Física y Deportiva, además de ser parte del proyecto de I+D+i "Patrimonios controversiales para la formación ecosocial de la ciudadanía. Una investigación de educación patrimonial en la enseñanza reglada (EPITEC2)", referencia PID2020-116662GB-100, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y se enmarca en el Centro de Investigación en Pensamiento Contemporáneo e Innovación para el Desarrollo Social (COIDESO) de la Universidad de Huelva.

Referencias

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959-975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Campina-López, A., Lorca-Marín A.A. & De las Heras Pérez, M.A. (2023). Análisis e implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y la resolución de problemas en las aulas de ciencias. *Revista APICE*. (En prensa)

Cárdenas, Y. B., & Saavedra, R. C. (2017). Desarrollo de la competencia de indagación en Ciencias Naturales. *Educación Y Ciencia*, *20*, 1-15.

Fussero, G. B., Occelli, M., & Chiarani, M. (2021). Computational Thinking and Genetic Engineering learning: An Approach from Design Research. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, *30*, 40-50.

Gálvez, A. (2002). Revisión bibliográfica: Usos y utilidades. *Matronas profesión*, *3*(10), 25-31.

Hertzberg, S., & Rudner, L. (1999). Quality of Researchers' Searches of the ERIC Database. *Education Policy Analysis Archives*, *7*, 25-25. https://doi.org/10.14507/epaa.v7n25.1999

López-Robles, J.-R., Guallar, J., Otegi-Olaso, J.-R., & Gamboa-Rosales, N.-K. (2019). El profesional de la información (EPI): Bibliometric and thematic analysis (2006-2017). *Profesional de La Información*, *28*(4), Article 4. https://doi.org/10.3145/epi.2019.jul.17

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. (2009). Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group PPreferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Med 6: e1000097. *Open medicine : a peer-reviewed, independent, open-access journal*, *3*, e123-30. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.005

Mokhnacheva, Yu. V., & Tsvetkova, V. A. (2020). Development of Bibliometrics as a Scientific Field. *Scientific and Technical Information Processing*, *47*(3), 158-163. https://doi.org/10.3103/S014768822003003X

Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2022). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. *Perspectives on Medical Education*, *11*(3), 173-176. https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4

Oliva, J. M. (2019). Different definitions for the idea of modeling in science education. *Ensenanza de Las Ciencias*, *37*(2), 5-24. Scopus. https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, Pub. L. No. Real Decreto 217/2022, BOE-A-2022-4975 41571 (2022). https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217

Salinas, D. T. (2020). *Bibliometrix: Primeros pasos y técnicas avanzadas con BiblioShiny App* (0.8) [Computer software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.4327614

Salmerón, A. (2016, mayo 26). *Ecuacion de busqueda BUNS UAL t-Formas*. https://ci2.ual.es/ecuacion-de-busqueda-buns-ual/

Yepes-Nuñez, J. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, *74*(9), 790-799. https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016

4.2.1 ¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno? Programación de sensores para la medida de parámetros fisicoquímicos en Educación Secundaria. Situaciones de aprendizaje en patrimonios naturales.

Tabla 19. Publicación 5.

Campo	Información
Referencia	Campina López, A. C., Lorca Marín, A. A., & De las Heras Pérez, M. Á. (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 (Cap. 5). Octaedro.
Publicación	Capítulo de libro académico sobre propuestas didácticas centradas en el patrimonio natural de Huelva. *Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales* es un manual en el que se presentan y describen diseños didácticos centrados en elementos controversiales del patrimonio natural de Huelva. Está dirigido tanto a profesionales en formación inicial como a docentes en ejercicio de todas las etapas educativas (Infantil, Primaria y Secundaria). Las propuestas que incluye siguen las directrices de la legislación educativa vigente y desarrollan situaciones de aprendizaje completas. La editorial Octaedro, especializada en educación, publica libros y colecciones que promueven y difunden el conocimiento entre el profesorado universitario y de niveles previos.
Título del libro	*Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales*
Editorial	Octaedro
ISBN	978-84-1079-063-6
País	España
Sitio web	https://octaedro.com/
Indexación	SPI (Scholarly Publishers Indicators): 2022 – Q1 Nacional (1/29 en Educación)

5. «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?»: características fisicoquímicas y programación de sensores en Educación Secundaria

Alejandro Carlos Campina López
Universidad de Huelva, alejandro.campina@ddi.uhu.es

Antonio Alejandro Lorca-Marín
Universidad de Huelva, antonio.lorca@ddcc.uhu.es

M.ª Ángeles de las Heras Pérez
Universidad de Huelva, angeles.delasheras@ddcc.uhu.es

1. Introducción

Este capítulo forma parte, al igual que los dos posteriores, de una misma situación de aprendizaje desarrollada en el 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria cuyo centro de interés y contexto de enseñanza-aprendizaje es el río Tinto y su entorno natural, cultural y social. La situación de aprendizaje se configura como un proyecto interdisciplinar de educación patrimonial (Trabajo y Cuenca-Lopez, 2022), que parte del patrimonio del entorno próximo para la integración de contenidos de distintas disciplinas con el objetivo de dar respuesta a la pregunta general: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?».

Esta situación de aprendizaje, en la línea con los objetivos generales de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria, establecidos en el Real Decreto 217/2022, pretende que el alumnado conciba el conocimiento científico como un saber integrado que permite aplicar métodos para identificar y buscar soluciones a las problemáticas desde los distintos campos del conocimiento y la experiencia. Así, a través de este proyecto, el alumnado analiza su contexto cercano para comprender la interrelación entre el ser humano y el medioambiente, así como los cambios y permanencias en la cultura y la sociedad a lo largo del tiempo (De la Vega e Iranzo, 2021), a través de la implementación conjunta de procesos educativos de indagación, modelización y pensamiento computacional (PC) (Campina-López *et al.*, 2023).

En este capítulo se presenta específicamente la secuencia didáctica diseñada para la asignatura de Física y Química, analizando las características fisicoquímicas del río a través de la construcción y programación

de sensores a través de placas controladoras *BBC Micro Bit*, así como el estudio de los diferentes posicionamientos científicos que derivan de dichas características y la relevancia de las condiciones del río Tinto para los estudios sobre la presencia de vida o no en otros planetas. Así, a través de las actividades planteadas para esta área se da respuesta a la tercera subpregunta: «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?».

2. Marco teórico

El uso extensivo de la tecnología en nuestro día a día resalta la necesidad de que el sistema educativo se adapte a una realidad para el desarrollo de competencias digitales del alumnado en la enseñanza y, a través del uso de las tecnologías digitales, podemos contribuir a mejorar la calidad de la enseñanza de la química (Dewi *et al.*, 2021) que, según el propio autor, podemos diferenciar en aspectos técnicos, cognitivos y sociales:

2.1. Aspectos técnicos: construcción y programación de sensores

Los hallazgos empíricos muestran que el aprendizaje basado en proyectos que incorpora el enfoque STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas) tiene una influencia positiva y significativa en el desarrollo del reconocimiento creativo del alumnado (Lu *et al.*, 2022), así como estudios que demuestran que dentro de un contexto STEAM se puede mejorar el aprendizaje del PC (Weintrop *et al.*, 2014). Uno de los principales avances en este tipo de proyectos no es solo el uso de instrumentos tecnológicos en la enseñanza de la Física y Química para la mejora del aprendizaje de los contenidos, competencias y saberes implicados, sino que, además, también construyan y programen sus propias herramientas para la captación y representación de datos acerca de parámetros, como el pH, conductividad, la turbidez, el caudal o la temperatura. En el caso del proyecto del río Tinto, el alumnado empleó sensores, placas *BBC Micro Bit* y el *software* de programación *Microsoft MakeCode* para crear y programar dispositivos que les permitieron recolectar datos en tiempo real. *BBC Micro Bit* es una placa controladora de pequeño tamaño y fácil de programar, y, por ello, idónea para transportar y usar en el campo. El *software* empleado para programar está basado en lenguaje de programación basado en bloques, siendo los preferidos para los niveles escolares más bajos, debido a su menor barrera de entrada para comenzar a codificar (Kastner-Hauler *et al.*, 2022). Además, facilita

a los estudiantes desarrollar habilidades informáticas básicas (sociales, lingüísticas y cognitivas), así como estrategias para la planificación y resolución de problemas de manera divertida y creativa (Capay *et al.*, 2022; Papadakis, 2024).

El equipamiento se completa, junto al ordenador (BBC Microbit, con su interfaz compuesta de 25 ledes) y junto con el *software* de programación, con el uso de sensores. Estos cubren una variedad de magnitudes y permiten abarcar distintos aspectos del currículo de la Educación Secundaria que tradicionalmente no han sido posibles o fáciles de realizar (Caamaño *et al.*, 2011), presentando sus datos en tiempo real de forma numérica o gráficamente y pudiendo ser almacenados.

2.2. Aspectos cognitivos: comprensión del concepto de *pH*

Además de aprender sobre las diferentes características fisicoquímicas del río Tinto anteriormente mencionadas, se pone el foco en los conceptos de *acidez*, *basicidad* y *pH*, y en la comprensión de su escala logarítmica. El pH es una medida que indica el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución y es una de las características principales que presenta el río Tinto por presentar un pH cercano a 2,2 (muy ácido). Comprender el pH es fundamental porque influye en múltiples procesos biológicos y químicos en el medioambiente y, además, existen numerosas investigaciones que ponen de manifiesto que los alumnos de todos los niveles presentan dificultades a la hora de aplicar estos conceptos tan habituales en los hogares y que ya han sido trabajados en el aula (Jiménez-Liso *et al.*, 2000).

Estos contenidos suelen presentar concepciones alternativas por su alto nivel de complejidad para muchos estudiantes de secundaria (Kala *et al.*, 2013). El alumnado, al convertir el pH (una escala logarítmica) a una expresión decimal, tiende a pensar que se trata de una escala lineal y que la adición de agua destilada a una solución ácida debería producir un aumento lineal en el valor del pH (López-Banet *et al.*, 2021). Asimismo, el alumnado conceptualiza que, a pH = 0, las sustancias son neutras o que, cuanto mayor sea el pH, mayor será la acidez (Pan y Henriques, 2015). Además, piensan que la neutralización siempre da como resultado una solución neutra y solo tienen una noción de los aspectos corrosivos de la acidez (Lin y Chiu, 2007). Por ello, el desarrollo de situaciones de aprendizaje en un centro de interés como el río Tinto se considera una gran oportunidad de poder trabajar y mejorar la comprensión de conceptos abstractos de la ciencia como el *pH*.

2.3. Aspectos sociales: impacto ambiental, socioeconómico y educativo del río Tinto

El impacto ambiental de la minería en el río Tinto y su entorno ha tenido consecuencias directas sobre el desarrollo de la población que vive en sus alrededores, particularmente en actividades como la agricultura y el acceso a recursos naturales. La educación es una de las principales herramientas para conducir al desarrollo sostenible y, para ello, el ámbito escolar debe convertirse en un referente capaz de influir en la comunidad (Souza *et al.*, 2024). La contaminación ambiental presenta importantes desafíos que deben ser abordados a través de estrategias educativas innovadoras que promuevan la educación ambiental y que generen una alfabetización ambiental en ciudadanos comprometidos con el medioambiente (Yupanqui-Guevara y Leyva-Aguilar, 2024).

3. Descripción y justificación de la controversia

Conocido desde la época de los fenicios como *Ur-yero* o *Río de Fuego*, debido a la tonalidad rojiza y a la acidez de sus aguas, el río Tinto y su entorno presenta una controversia sociocientífica (CSC). Aunque carece de peces, moluscos o plantas superiores, se desarrollan microorganismos extremófilos para los que estas condiciones ácidas son ideales. Estos microorganismos son de alto valor científico, pues han sido objeto de estudio de agencias como la NASA por la posibilidad de poder encontrar formas de vida en otros planetas con entornos extremos. La excepcionalidad de los organismos que habitan en el río Tinto, junto con las características geoquímicas de su entorno como análogo terrestre de Marte, hacen del río un laboratorio natural que ayuda a comprender procesos geoquímicos en otros planetas y, potencialmente, identificar signos de vida pasada o presente en Marte. Este hecho, junto al interés turístico que suscita su paisaje y el impacto de la minería en la zona, lo ha convertido en un Paisaje Protegido por la Junta de Andalucía mediante el Decreto 558/2004 del 14 de diciembre.

A pesar de sus peculiaridades excepcionales y su valor patrimonial, turístico y científico, se trata de un río contaminado que afecta negativamente al ecosistema. La presencia de elementos tóxicos como arsénico, cadmio y plomo, que pueden permanecer disueltos en el agua e incluso alcanzar a las aguas costeras, tienen como origen un proceso conocido como *drenaje ácido de minas* (DAM), una de las principales causas de degradación de recursos hídricos a nivel mundial (Nieto y Olías, 2021). La postura contraria a su protección argumenta que la mejor opción se-

ría descontaminarlo en aras de evitar sus aportes de metales pesados al estuario de Huelva y al océano Atlántico, y así mejorar las condiciones ambientales de los ecosistemas fluviales como demanda la Directiva del Marco del Agua de la Unión Europea (Directive 2000/60/EC of the European Parliament).

De este modo, esta CSC ligada a un patrimonio controversial como el río Tinto, se considera de gran interés para el trabajo en el aula, ya que plantea conflictos de naturaleza ideológica, política, económica y ambiental, lo que podría llevar a los estudiantes a reflexionar, formarse sus propias opiniones y analizar críticamente la realidad (Arroyo *et al.*, 2022).

4. Diseño de la propuesta

La situación de aprendizaje titulada «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?» se diseñó con el objetivo de que el alumnado comprendiera las propiedades fisicoquímicas del río Tinto a través de la combinación de pensamiento computacional y el uso de sensores programados. Este enfoque permitió al alumnado conectar los conceptos de Física y Química con la programación, la recolección de datos en tiempo real y su aplicación práctica en un entorno real.

El proyecto comenzó con una indagación guiada basada en las preguntas clave que los propios alumnos formularon: «¿Nace rojo?», «¿Cambian sus características a lo largo de su cauce?», «¿Podemos cambiar sus características?» y «¿Cómo nos afecta?». La enseñanza de las ciencias basada en la indagación (IBSE) es un modelo didáctico que genera situaciones de enseñanza-aprendizaje a partir de la formulación de problemas investigables (Campina-López *et al.*, 2023). A partir de estas preguntas, se inició el estudio de los parámetros fisicoquímicos fundamentales que permiten describir cualquier ecosistema fluvial. El alumnado investigó los conceptos de *pH*, *conductividad*, *turbidez* y *temperatura* del agua, entendiendo sus unidades de medida y los instrumentos necesarios para su medición, así como recopiló toda la información en un espacio web colaborativo.

Ante la imposibilidad de adquirir equipos sofisticados para la medición de estos parámetros, el alumnado se enfrentó al desafío de construir y programar sus propias herramientas. Utilizando placas *BBC Micro Bit* y el entorno de programación *Microsoft MakeCode*, el alumnado diseñó y programó sensores para medir los parámetros en tiempo real (figura 1).



Figura 1. Fotografía del alumnado en clase programando sensores.
Fuente: elaboración propia.

Este proceso de programación basado en bloques, no solo les permitió aprender los fundamentos de la lógica algorítmica, sino que también les brindó una oportunidad de desarrollar competencias tecnológicas esenciales para la recolección y análisis de datos científicos, así como para la resolución de problemas complejos usando el PC (Wing, 2006). El PC es un proceso de resolución de problemas que consiste en la descomposición en partes más manejables usando una secuencia de pasos (algoritmos) para resolverlos mediante abstracciones, uso de modelos y reconocimiento de patrones (Campina-López *et al.*, 2023).

Uno de los momentos más importantes del proyecto surgió cuando los alumnos comenzaron a preguntarse sobre los efectos del agua ácida del río en el ser humano. Esto los motivó a profundizar en el estudio del pH y cómo este influye en los procesos naturales y antrópicos. Como parte de este proceso, se organizó una salida de campo al río Tinto (figura 2), donde el alumnado utilizó los sensores programados para medir el pH y otros parámetros en varios puntos del cauce. Durante la actividad, se recogieron muestras de agua y se analizaron las propiedades fisicoquímicas del río en tiempo real, siendo estas recogidas en un cuaderno de campo.



Figura 2. Fotografía de la visita a la cabecera del río Tinto en la Sierra de Padre Caro (Huelva).
Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, al analizar los datos obtenidos, el alumnado mostró confusiones sobre la escala logarítmica del pH. Para resolver este desafío conceptual, se llevó a cabo una actividad de modelización, en la que diseñaron y construyeron una maqueta de la cabecera del río (figura 3). La modelización está ligada a metodologías de enseñanza-aprendizaje basadas en modelos MTBL (*model-based teaching and learning*) y a los procesos de MBI (*model-based inquiry*) (Campina-López *et al.*, 2023; Hernández *et al.*, 2015) que se llevó a cabo a través del ciclo de la modelización (Couso *et al.*, 2020) en conjunción del ciclo del PC (Campina López *et al.*, 2024). La modelización se trata de la implementación de recursos instrumentales que permiten interpretar, describir, explicar y definir fenómenos (Couso, 2014; Oliva, 2019) sin dejar de ser simples representaciones de la realidad. Tanto la indagación como la modelización y PC se desarrollaron de forma conjunta a través de sus ciclos analizados y definidos en los trabajos de Campina-López *et al.* (2023).

Así pues, a través de esta maqueta, pudieron visualizar cómo interactúan las diferentes aguas con valores de pH variados, lo que les permitió comprender que el pH no funciona de manera lineal, sino logarítmica. Esta experiencia les mostró cómo pequeñas variaciones en el pH pueden tener efectos significativos en la acidez del agua y, por ende, en el ecosistema del río.



Figura 3. Fotografía de las maquetas realizadas por el alumnado.
Fuente: elaboración propia.

La fase final del proyecto consistió en una serie de actividades para consolidar el aprendizaje. En primer lugar, se llevó a cabo un debate estructurado en el que el alumnado discutió las implicaciones ambientales y sociales del estudio del río Tinto, planteándose si sería mejor restaurar el ecosistema o conservarlo debido a su valor científico. A continuación, los estudiantes visitaron los laboratorios de la universidad, donde validaron los datos obtenidos en la salida de campo con equipos de laboratorio profesional. Finalmente, el alumnado expuso sus trabajos a través de presentaciones orales y la creación de un *podcast*, donde reflexionaron sobre la importancia de los parámetros fisicoquímicos y el uso de tecnologías en la conservación de entornos naturales.

4.1. Participantes

La situación de aprendizaje en la que se incluye la secuencia didáctica presentada en este capítulo fue implementada en el 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria de un centro concertado de Educación Infantil, Primaria y Secundaria, situado en Valverde del Camino, muni-

cipio de la provincia de Huelva. La clase participante en la experiencia educativa se corresponde con un grupo de 28 estudiantes de entre 15 y 16 años.

Valverde del Camino es una localidad situada en la comarca onubense del Andévalo en la cual la repercusión de la actividad minera, de los cambios sociales y culturales en la Cuenca Minera y de las investigaciones y modificaciones en el río Tinto y su entorno es notable. Por ello, además de por la accesibilidad y disponibilidad del equipo docente del centro educativo, este contexto es idóneo para realizar un acercamiento educativo interdisciplinar al río Tinto.

4.2. Instrumento de planificación didáctica: la secuencia

La situación de aprendizaje titulada «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?» tiene como objetivo principal que el alumnado comprenda los fenómenos fisicoquímicos del río Tinto, aprendiendo a medir, analizar y relacionar los parámetros que describen su acidez y otras características físicas. Este enfoque fomenta que el alumnado adquiera una comprensión crítica sobre cómo estos parámetros afectan el ecosistema del río y cómo la ciencia puede contribuir a la mejora de su conservación.

La situación de aprendizaje, compuesta por las tres secuencias didácticas presentadas en este libro, fue creada con el propósito de responder a la pregunta de investigación escolar: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?» y de alcanzar un doble objetivo final. En primer lugar, el alumnado elaboró un guion para la grabación de un *podcast* colaborativo, en el que abordaron las controversias relacionadas con el río Tinto y compartieron sus reflexiones tras haberlo estudiado en profundidad desde las tres áreas curriculares. Este *podcast* fue presentado en el III Concurso Nacional de Podcast Escolar, organizado por RTVE, y posteriormente se difundió entre las familias del alumnado y la comunidad educativa.

En segundo lugar, una semana después de concluir la situación de aprendizaje, el alumnado visitó la Facultad de Ciencias Experimentales y de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte, en la Universidad de Huelva, donde presentaron los resultados de su proyecto y la Facultad de Ciencias Experimentales, donde visitaron y usaron sus laboratorios con la ayuda de profesionales (figura 4), para darle un mayor rigor a sus resultados, así como a las respuestas a las preguntas de investigación y los aprendizajes obtenidos.



Figura 4. Visita a los laboratorios de la Universidad de Huelva.
Fuente: elaboración propia.

Desde el área de Física y Química, a partir de la subpregunta: «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?», las actividades de esta secuencia didáctica se han diseñado para contribuir a las competencias específicas de esta área, extraídas en su formulación original de la Orden de 30 de mayo de 2023 y trabajas de la siguiente forma:

- CE 1. Comprender y relacionar los motivos por los que ocurren los principales fenómenos fisicoquímicos del entorno, explicándolos en términos de las leyes y teorías científicas adecuadas, para resolver problemas con el fin de aplicarlas para mejorar la realidad cercana y la calidad de vida humana: el alumnado investigó cómo la acidez del río Tinto y otros parámetros fisicoquímicos, como el pH y la temperatura, están relacionados con procesos como la oxidación de metales y la actividad minera. Utilizaron sensores para medir estos parámetros y propusieron soluciones para mitigar los efectos de la actividad humana sobre el ecosistema del río, aplicando el conocimiento adquirido para mejorar el entorno natural.
- CE 2. Expresar las observaciones realizadas por el alumnado en forma de preguntas, formulando hipótesis, para explicarlas y demostrando dichas hipótesis a través de la experimentación científica, la indaga-

ción y la búsqueda de evidencias, para desarrollar los razonamientos propios del pensamiento científico y mejorar las destrezas en el uso de las metodologías científicas: el alumnado observó el río Tinto y formularon preguntas sobre la variación del pH y otros parámetros fisicoquímicos. A partir de estas observaciones, plantearon hipótesis que verificaron mediante experimentación con sensores, entre ellos, de pH y temperatura. Esta indagación les permitió demostrar sus hipótesis, mejorar sus destrezas científicas y fortalecer su razonamiento científico, integrando la programación y la medición con herramientas tecnológicas.

- CE 3. Manejar con soltura las reglas y normas básicas de la física y la química en lo referente al uso correcto de sistemas de unidades, el empleo de herramientas matemáticas, y el uso seguro del laboratorio: el alumnado empleó sensores de pH y turbidez para recoger datos con precisión en el río Tinto. Aplicaron correctamente las unidades de medida y utilizaron la notación científica al expresar los resultados. Además, analizaron y presentaron la información obtenida en diferentes formatos (tablas, gráficos, etc.) en el sitio web colaborativo, fomentando una comunicación eficaz de los resultados científicos.
- CE 4. Utilizar de forma crítica, eficiente y segura plataformas digitales y recursos variados tanto para el trabajo individual como en equipo: el alumnado utilizó plataformas digitales para registrar y analizar los datos, colaborando en equipo para generar informes y compartir los resultados de sus investigaciones.
- CE 5. Desarrollar una actitud crítica y responsable ante los avances científicos y tecnológicos, evaluando su impacto en el medioambiente y la sociedad, para tomar decisiones fundamentadas: A través de debates y reflexiones sobre el impacto de la minería en el río Tinto, el alumnado evaluó cómo la actividad humana ha influido en el ecosistema. Reflexionaron sobre la importancia de proteger el medioambiente y propusieron soluciones sostenibles basadas en los datos recogidos durante sus experimentos.

Para este proyecto, se han adaptado los saberes básicos de la normativa vigente, los cuales integran una perspectiva interdisciplinar que abarca tanto el área de Física y Química como su interrelación con otros ámbitos científicos. Estos saberes se presentan en la trama de la figura 5, en relación con las competencias específicas trabajadas en el proyecto: competencia específica 1 (señalada en color rojo), competencia específica 2 (señalada en color azul), competencia específica 3 (señalada en color naranja), competencia específica 4 (señalada en color amarillo), competencia específica 5 (señalada en color verde):

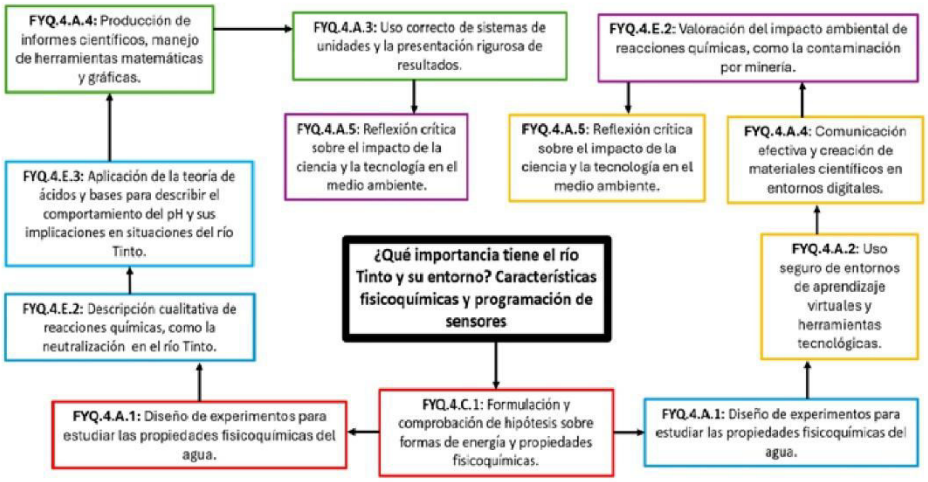


Figura 5. Trama de saberes básicos de la situación de aprendizaje.
Fuente: elaboración propia.

Con el fin de asegurar el conocimiento, adquisición y desarrollo de estos elementos curriculares, se han diseñado e implementado once actividades (tabla 1), siguiendo las fases propias de las situaciones de aprendizaje:

Tabla 1. Actividades de la secuencia didáctica

Actividad	Fase de la situación de aprendizaje
Actividad 1: Reflexión inicial sobre las propiedades del río Tinto y los motivos de su acidez.	Motivación
Actividad 2: Planteamiento de preguntas de investigación sobre las características fisicoquímicas del río (pH, temperatura, etc.).	Activación
Actividad 3: Búsqueda de información en internet sobre los parámetros fisicoquímicos necesarios para describir un río y su relevancia.	Exploración
Actividad4: Desarrollo de un sitio web colaborativo que recopiló la información y tareas realizadas por el alumnado.	Estructuración
Actividad 5: Construcción de sensores programados para la toma de datos de los parámetros fisico-químicos del río.	Estructuración
Actividad 6: Salida de campo para medir y tomar datos en el río Tinto utilizando los sensores programados.	Estructuración y Exploración
Actividad 7: Creación de una maqueta representando el cauce del río, y sus afluentes para mezclar muestras tomadas y medir pH.	Estructuración
Actividad 8: Debate sobre los parámetros fisicoquímicos y su importancia en la conservación del río para su posicionamiento y la toma de decisiones sobre su conservación o restauración.	Aplicación

5. «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?»

Actividad	Fase de la situación de aprendizaje
Actividad 9: Visita a un laboratorio universitario para contrastar los datos obtenidos con el instrumental y personal profesional.	Aplicación
Actividad 10: Presentación oral del proyecto y discusión grupal sobre los resultados obtenidos	Conclusión y Comunicación
Actividad 11: Realización de un *podcast* colaborativo donde los estudiantes resumen y reflexionan sobre sus aprendizajes.	Conclusión y Comunicación

Fuente: elaboración propia

4.3. Instrumento de análisis y evaluación

La evaluación de esta secuencia didáctica se ha caracterizado por ser global, continua y formativa, siguiendo los principios establecidos en la Orden de 30 de mayo de 2023. Los aprendizajes adquiridos por el alumnado se evaluaron a partir de la observación de sus intervenciones en las actividades de clase, la calidad de sus producciones, y su participación durante las fases de investigación y experimentación.

Se ha utilizado una rúbrica de evaluación que valora de forma progresiva la consecución de cada criterio de evaluación específicos de Física y Química desde un nivel inicial hasta uno deseable (tabla 2), que valora diferentes dimensiones como: capacidad para interpretar y representar datos sobre los fenómenos fisicoquímicos del río Tinto; la planificación y desarrollo de experimentos en la salida de campo; el análisis crítico sobre el impacto de la actividad humana en el ecosistema; y el uso adecuado de herramientas tecnológicas para la recogida y análisis de datos. Además, se valoraron las aportaciones de los estudiantes en las actividades grupales, como el desarrollo colaborativo de la maqueta del río y la creación del sitio web donde plasmaron sus investigaciones. La capacidad de los alumnos para integrar los conocimientos teóricos en contextos reales, y para participar activamente en los debates sobre la conservación o restauración del ecosistema del río, fue otro aspecto clave en la evaluación.

Tabla 2. Rúbrica de evaluación: instrumento de análisis de los resultados de aprendizaje

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
1.1. Comprender y explicar con rigor los fenómenos fisicoquímicos del río Tinto (pH, acidez, turbidez).	La explicación es incompleta o contiene errores conceptuales importantes.	La explicación es básica, con falta de precisión en los términos científicos (*pH, escala logarítmica*).	Explica claramente el fenómeno del pH y su relación con la acidez, utilizando principios científicos correctamente.	Explicación precisa y rigurosa, basada en datos experimentales, con uso adecuado de teorías científicas como la teoría de ácidos y bases.
1.2. Resolver problemas fisicoquímicos utilizando sensores y análisis de datos (pH, temperatura, turbidez).	No es capaz de interpretar correctamente los datos o de resolver los problemas fisicoquímicos planteados.	Resuelve problemas, pero con errores en la aplicación de teorías o leyes fisicoquímicas, o en la interpretación de los datos.	Interpreta adecuadamente los datos y resuelve problemas utilizando leyes como la teoría de ácidos y bases.	Interpreta rigurosamente los datos experimentales, resolviendo problemas de forma crítica, utilizando las leyes y teorías fisicoquímicas con precisión.
1.3. Identificar problemas ambientales reales derivados de la actividad minera en el río Tinto y proponer soluciones científicas.	No reconoce adecuadamente los problemas ambientales del río Tinto.	Reconoce los problemas ambientales, pero no propone soluciones concretas o estas son poco aplicables.	Identifica claramente los problemas ambientales, proponiendo soluciones científicas viables para mejorar la situación del río.	Analiza críticamente los problemas derivados de la actividad minera, proponiendo soluciones científicas fundamentadas en los datos obtenidos durante el proyecto.
2.1. Aplicar la metodología científica en el estudio del río Tinto (diseño experimental, toma de datos con sensores).	No sigue correctamente los pasos de la metodología científica (observación, hipótesis, experimentación, análisis de resultados).	Aplica algunos pasos de la metodología científica, pero de manera incompleta o con errores en el proceso.	Aplica la metodología científica correctamente en el diseño y ejecución de los experimentos con sensores.	Aplica rigurosamente todos los pasos de la metodología científica, desde el diseño experimental hasta el análisis crítico de los resultados obtenidos.
2.2. Predecir el comportamiento del río (pH, acidez) basado en los datos experimentales obtenidos con sensores.	No realiza predicciones o estas no son coherentes con los datos experimentales.	Realiza predicciones, pero sin una base científica clara o sin comprobarlas con los datos obtenidos.	Realiza predicciones basadas en los datos experimentales y valida los resultados con coherencia científica.	Predice con precisión los cambios en el pH y otros parámetros fisicoquímicos del río, y valida de manera rigurosa las predicciones con los datos experimentales.

5. «¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?»

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
3.1. Utilizar herramientas científicas (gráficos, tablas) y recursos digitales (sitio web) para comunicar los resultados.	No utiliza adecuadamente las herramientas científicas o los recursos digitales para comunicar los resultados del proyecto.	Utiliza herramientas científicas o recursos digitales, pero con errores en la interpretación o en la presentación de los datos.	Presenta los resultados de manera clara y precisa, utilizando gráficos y tablas adecuados, y comparte la información en el sitio web colaborativo.	Comunica los resultados de manera rigurosa, empleando gráficos, tablas y recursos digitales de forma efectiva y profesional, asegurando que los datos sean interpretados correctamente.
4.1. Emplear de forma crítica y eficiente recursos tecnológicos (sensores, *software*) para el análisis y resolución de problemas científicos.	No utiliza correctamente los recursos tecnológicos disponibles para el proyecto.	Utiliza los recursos tecnológicos, pero de manera incompleta o con errores que afectan los resultados.	Utiliza de manera eficiente los sensores y el *software* de análisis, resolviendo los problemas científicos planteados en el proyecto.	Emplea de forma crítica y eficiente los recursos tecnológicos, utilizando los sensores y *software* con precisión para obtener y analizar datos que conduzcan a soluciones científicas coherentes.
5.1. Trabajar colaborativamente en el análisis y presentación de resultados (sitio web, informes).	No participa activamente en las actividades colaborativas o no aporta al análisis y presentación de resultados.	Participa de manera limitada en las actividades colaborativas o en la presentación de resultados.	Colabora activamente en el análisis y presentación de los resultados, participando en la creación del sitio web y en la interpretación de los datos.	Desempeña un papel clave en el trabajo colaborativo, liderando la presentación de resultados y fomentando la participación activa del grupo en la interpretación y difusión de los datos científicos.

Fuente: elaboración propia a partir de los criterios de evaluación de la Orden de 30 de mayo de 2022

En el caso del capítulo de Física y Química, se introduce un segundo instrumento teórico-metodológico de análisis (tabla 3) que evalúa la profundidad de las nociones que el alumnado presenta sobre la interacción del ser humano con el medio. En este contexto, se aborda específicamente el impacto fisicoquímico del río Tinto, centrándose en cómo las características químicas, como el pH, la conductividad y la acidez del agua, influyen en el entorno y en la actividad humana.

Tabla 3. Sistema de categorías: instrumento teórico y metodológico de análisis de la situación de aprendizaje

Categorías	Subcategorías	Indicadores	Descriptores
I. ASPECTOS FISICOQUÍMICOS	1. Fenómenos fisicoquímicos	Iniciado en reacciones	Reconoce las principales características fisicoquímicas del río, como la acidez y los metales disueltos.
		Analista fisicoquímico	Relaciona los fenómenos fisicoquímicos con la acidez del agua, explicando la influencia de los minerales presentes.
		Científico del pH	Interpreta cómo las reacciones químicas y los parámetros fisicoquímicos afectan la acidez y el equilibrio del ecosistema.
	2. Parámetros fisicoquímicos	Explorador fisicoquímico	Identifica los principales parámetros del río (pH, turbidez, oxígeno disuelto) observando sus características. Reconoce el concepto de *pH* y su relación con la acidez del agua, identificando los valores medidos en el río Tinto.
		Investigador de variables	Relaciona los parámetros con los cambios en la calidad del agua, explicando cómo influyen en el ecosistema del río. Entiende la escala logarítmica del pH, explicando la diferencia entre los valores medidos y cómo pequeños cambios en el pH representan grandes diferencias en acidez.
		Experto en acidez	Analiza las interacciones entre los diferentes parámetros fisicoquímicos, explicando su relación con los procesos químicos. Analiza el pH del río en profundidad, correlacionando los datos de acidez con los procesos químicos como la oxidación de metales y su impacto en el ecosistema.
	3. Reacciones químicas	Curioso de reacciones	Reconoce las reacciones químicas básicas que ocurren en el río, como la oxidación de metales.
		Estudioso de compuestos	Relaciona las reacciones químicas con la composición del agua y los compuestos que se forman.
		Experto en reacciones	Analiza cómo las reacciones químicas afectan la calidad del agua y su impacto en el ecosistema del río Tinto.
II. INTERACCIÓN SER HUMANO-MEDIO	4. Impacto del ser humano en el río Tinto y su entorno	Observador histórico	Reconoce los principales eventos históricos relacionados con la minería y su influencia en el río.
		Intérprete de consecuencias	Analiza las consecuencias medioambientales y sociales de la actividad minera en el ecosistema del río Tinto.
		Crítico del equilibrio ecosistémico	Evalúa críticamente el impacto global de la minería y otras intervenciones humanas en el ecosistema del río, proponiendo soluciones.

Fuente: elaboración propia

5. Análisis y discusión

A partir de los resultados obtenidos de las actividades del proyecto, como los cuadernos de campo, los argumentos del debate final, las presentaciones orales y el *podcast* colaborativo, se identificaron varios puntos clave:

- *Relación entre el drenaje ácido de minas (DAM) y la acidez del río:* a través de las mediciones de pH realizadas con los sensores programados y su recolección en los cuadernos de campo (figura 6) el alumnado observó cómo el DAM mantiene el pH del río Tinto extremadamente bajo a lo largo de su cauce y lo complicado que es hacer que cambie su concentración. Este punto fue central en el análisis de cómo la actividad minera ha alterado el ecosistema.

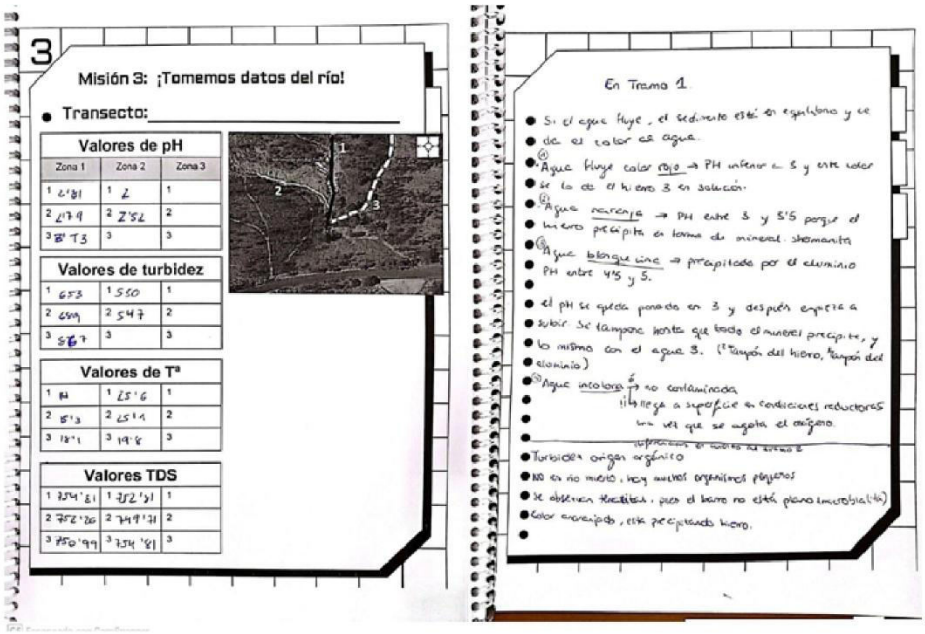


Figura 6. Imágenes de algunos de los cuadernos de campo del alumnado con parámetros fisicoquímicos del río Tinto.

Fuente: elaboración propia.

- *Comprensión de la escala logarítmica del pH:* el alumnado trabajó con la modelización y la programación de sensores para analizar los parámetros fisicoquímicos del río Tinto, centrándose especialmente en el pH. A pesar de que algunos afluentes mostraban niveles de pH más elevados, el alumnado observó que el pH del río apenas variaba. Esto se debía principalmente a la geología del terreno y a la alta concentración de sulfuros, lo que genera una acidez persistente. A través de esta actividad, comprendieron la dificultad de alterar significativamente el pH en un entorno tan ácido, incluso con la llegada de afluentes menos ácidos.
- *Impacto del análisis fisicoquímico en la vida cotidiana y en la toma de decisiones:* durante el debate, el alumnado reflexionó sobre cómo los parámetros fisicoquímicos del río, especialmente la acidez y la presencia de metales pesados, afectan no solo el entorno natural, sino también las comunidades cercanas en cuanto al problema de la falta de agua. Discutieron si la conservación del ecosistema en su estado actual, por su valor científico, debería prevalecer sobre la restauración para mejorar la biodiversidad y convertirlo en un recurso.
- *Uso de la tecnología y el pensamiento computacional en la recolección de datos:* el alumnado desarrolló competencias tecnológicas significativas al construir y programar sensores, lo que les permitió no solo recopilar datos en tiempo real, sino también aplicar los resultados para comprender los fenómenos químicos del entorno. Esta habilidad fue especialmente útil cuando compararon sus resultados en los laboratorios universitarios, lo que reforzó la importancia de la precisión en las mediciones científicas.
- *Producciones finales y difusión del aprendizaje: a través del podcast* colaborativo y las presentaciones orales, el alumnado no solo comunicó sus hallazgos sobre los parámetros fisicoquímicos del río Tinto, sino que también reflexionó sobre la importancia de la conservación ambiental y la sostenibilidad. Estas actividades les permitieron conectar la teoría con la práctica, subrayando la necesidad de implementar soluciones que protejan el entorno natural y promover una conciencia colectiva sobre la preservación de ecosistemas únicos como el del río Tinto.

6. Conclusiones

Esta situación de aprendizaje se diseñó para abordar de manera interdisciplinar la relevancia del río Tinto desde diferentes áreas del conocimiento, poniendo el foco en las características fisicoquímicas que ha-

cen de este entorno un laboratorio natural único. Aunque el enfoque STEAM ha sido la base, en este capítulo se ha resaltado especialmente el ámbito de Física y Química, explorando en profundidad parámetros como el pH, la conductividad, la turbidez y la temperatura. Estas características han permitido al alumnado conectar la teoría con la realidad a través de la construcción y programación de sensores, además de fomentar una comprensión crítica sobre el impacto de estos fenómenos en el ecosistema y su conservación.

La implementación conjunta de metodologías como la indagación, la modelización y el pensamiento computacional ha resultado de gran utilidad para dar respuesta a las subpreguntas planteadas, guiar el desarrollo de la investigación y abordar una CSC ligada al patrimonio. El uso de sensores programados y la construcción, diseño y experimentación a través de maqueta permitió al estudiantado descubrir la complejidad del comportamiento del pH en un entorno ácido como el río Tinto, y comprender cómo la geología y la actividad minera afectan la estabilidad de su ecosistema.

Durante todo el proceso, el alumnado pudo abordar la pregunta central sobre la importancia del río Tinto mediante la aplicación de conocimientos científicos y el desarrollo de competencias tecnológicas. A través de las actividades desarrolladas, las presentaciones orales y el *podcast* final, el alumnado demostró una profunda reflexión sobre la necesidad de preservar este ecosistema único, destacando no solo su valor científico, sino también su relevancia socioeconómica y ambiental. De esta manera, se refuerza la idea de que la integración de diversas disciplinas no solo facilita la adquisición de conocimientos, sino que también fomenta la formación de personas capaces de analizar y actuar de manera informada y con espíritu crítico ante problemas complejos del mundo real que se alinea de acuerdo con los estudios de (Arroyo *et al.*, 2022; Trabajo y Cuenca-Lopez, 2022).

7. Referencias

Arroyo, 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

Caamaño, A., Gispert, O. C., Viñas, J. C., Lagarón, D. C., Bueno, A. de P., Mas, F. G., Mas, J. G., Rodriguez, M. I. H., Palazuelos, G. I., Jiménez, V. M.,

Sancho, J. O., Casulleras, R. P., Cobeta, O. P., Martín, C. S., Moreno, M. T., Unanue, A. A. y Nieto, M. B. (2011). *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas*, vol. III. Graó.

Campina-López, A. C., Lorca Marín, A. A., De Las Heras Pérez, M. Á. y Bosnjak Stepanovic, 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), em2424. https://doi.org/10.29333/ejmste/14378

Campina-López, A., Lorca-Marín, A. A. L. y De las Heras Pérez, M. Á. de las H. (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), art. 1. https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493

Capay, M., Kvassayova, N., Bellayova, M., Mansell, M. y Petrik, S. (2022). Programmable Hardware BBC Micro:Bit as a Tool for Developing Teacher Competencies. En: I. Kallel, H. M. Kammoun, A. Akkari y L. Hsairi (eds.). *Proceedings of the 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2022)* (pp. 1496-1501). IEEE. https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766487

Couso, D. (2014). *De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: Una reflexión crítica. Actas 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Conferencia plenaria inaugural.* (p. 28).

Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (2020, marzo 5). *Enseñando ciencia con ciencia*. FECYT. https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Decreto 558/2004, de 14 de diciembre, por el que se declara el Paisaje Protegido de Río Tinto. (s. f.). https://www.juntadeandalucia.es/boja/2005/10/2

Dewi, C. A., Pahriah, P. y Purmadi, A. (2021). The Urgency of Digital Literacy for Generation Z Students in Chemistry Learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, *16*(11), art. 11. https://doi.org/10.3991/ijet.v16i11.19871

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, EP, CONSIL, 327 OJ L (2000). http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng

Hernández, M. I., Couso, D. y Pintó, R. (2015). Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*, *24*(2), 356-377. https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y

Kala, N., Yaman, F. y Ayas, A. (2013). The Effectiveness Of Predict-Observe-Explain Technique inProbing Students' Understanding About Acid-Base Chemistry: A Case For The Concepts Of Ph, Poh, And Strength. *International*

Journal of Science and Mathematics Education, *11*(3), 555-574. https://doi.org/10.1007/s10763-012-9354-z

Kastner-Hauler, O., Tengler, K., Sabitzer, B. y Lavicza, Z. (2022). Combined Effects of Block-Based Programming and Physical Computing on Primary Students' Computational Thinking Skills. *Frontiers in Psychology*, *13*, 875382. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.875382

Liso, M., Torres, E., González-García, F. y López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: Aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias : revista de investigación y experiencias didácticas*, *18*(3), 18. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4031

Lu, S. Y., Lo, C. C. y Syu, J. Y. (2022). Project-based learning oriented STEAM: The case of micro-bit paper-cutting lamp. *International Journal of Technology and Design Education*, *32*(5), 2553-2575. https://doi.org/10.1007/s10798-021-09714-1

Nieto, J. M. y Olías, M. (2021, julio 20). *Ríos rojos: El problema ambiental de las aguas ácidas de mina*. The Conversation. http://theconversation.com/rios-rojos-el-problema-ambiental-de-las-aguas-acidas-de-mina-163947

Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *37*(2), art. 2. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648

Orden de 30 de mayo de 2023, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 104*, de 2 de junio de 2023. https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/104/36.

Real Decreto 217/2022 de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado, 76*, de 30 de marzo de 2022. https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con

Pan, H. y Henriques, L. (2015). Students' Alternate Conceptions on Acids and Bases. *School Science and Mathematics*, *115*(5), 237-243. https://doi.org/10.1111/ssm.12124

Papadakis, S. (2024). Can Preschoolers Learn Computational Thinking and Coding Skills with ScratchJr? A Systematic Literature Review. *International Journal of Educational Reform*, *33*(1), 28-61. https://doi.org/10.1177/10567879221076077

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, Pub. L. No. Real Decreto 217/2022, BOE-A-2022-4975 41571 (2022). https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217

Souza, B. S. e, Souza, R. G. de, Ferreira, A. B. y Fiore, F. A. (2024). Definition of Sustainability Indicators Applicable to Educational Units. *Ambiente & Sociedade*, *27*, e00214. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0214r1vu27l2oa

Trabajo, M. y Cuenca-Lopez, J. M. (2022). Educación Patrimonial y Sostenibilidad: Un Estudio de Caso en Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educação & Sociedade*, *43*, e255220. https://doi.org/10.1590/ES.255220

Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L. y Wilensky, U. (2014). *Defining Computational Thinking for Science, Technology, Engineering, and Math. Poster presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association* (AERA 2014). Filadelfia, EE. UU. http://ccl.northwestern.edu/2014/CT-STEM_AERA_2014.pdf

Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, *49*, 33-35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Yupanqui-Guevara, R. del P. y Leyva-Aguilar, N. A. (2024). Environmental awareness: Empowering changes through Literacy. *Revista Científica de la UCSA*, *11*(1), 108-128. https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2024.011.01.108

8. Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto «La controversia sociocientífica del Río Tinto como recurso para la generación de identidad en los estudiantes: ¿Conservar o restaurar?», aprobado en la convocatoria 2022/2023 para proyectos de innovación docente e investigación educativa de la Universidad de Huelva. Así, es parte del proyecto I+D+i «Patrimonios controversiales para la formación ecosocial de la ciudadanía. Una investigación de educación patrimonial en la enseñanza reglada (EPITEC2)» (PID2020-116662GB-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, y del proyecto I+D+i «Conocimiento especializado en la formación del profesorado de matemáticas, ciencias experimentales y ciencias sociales (MTSK-STSK-SCTSK)» (ProyExcel_00297), de la convocatoria de subvenciones a proyectos I+D+i universidades y entidades públicas de investigación 2021 de la Junta de Andalucía, y se enmarca en el Centro de Investigación en Pensamiento Contemporáneo e Innovación para el Desarrollo Social (COIDESO) y del grupo DESYM (HUM-168) de la Universidad de Huelva.

Por último, queríamos agradecer encarecidamente al equipo docente del colegio concertado María Auxiliadora de Valverde del Camino y a todos los coordinadores de este proyecto.

4.2.2 ¿Cómo es el río Tinto y su entorno?: Ecosistema y su geología en Educación Secundaria. Situaciones de aprendizaje en patrimonios naturales.

Tabla 19. Publicación 4

Campo	Información
Referencia	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 (Cap. 6). Octaedro.
Publicación	Capítulo de libro académico sobre propuestas didácticas centradas en el patrimonio natural de Huelva. *Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales* es un manual en el que se presentan y describen diseños didácticos centrados en elementos controversiales del patrimonio natural de Huelva. Está dirigido tanto a profesionales en formación inicial como a docentes en ejercicio de todas las etapas educativas (Infantil, Primaria y Secundaria). Las propuestas que incluye siguen las directrices de la legislación educativa vigente y desarrollan situaciones de aprendizaje completas. La editorial Octaedro, especializada en educación, publica libros y colecciones que promueven y difunden el conocimiento entre el profesorado universitario y de niveles previos.
Título del libro	*Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales*
Editorial	Octaedro
ISBN	978-84-1079-063-6
País	España
Sitio web	https://octaedro.com/
Indexación	SPI (Scholarly Publishers Indicators): 2022 – Q1 Nacional (1/29 en Educación)

6. «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?»: ecosistema y su geología en Educación Secundaria

Alejandro Carlos Campina López
Universidad de Huelva, alejandro.campina@ddi.uhu.es

Yolanda González Castanedo
Universidad de Huelva, yolanda.gonzalez@ddcc.uhu.es

Raquel Romero Fernández
Universidad de Huelva, raquel.romero@pi.uhu.es

1. Introducción

Este capítulo forma parte, al igual que los capítulo 5 y 7, de una misma situación de aprendizaje desarrollada en el 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria cuyo centro de interés y contexto de enseñanza-aprendizaje es el río Tinto y su entorno natural, cultural y social. La situación de aprendizaje se configura como un proyecto interdisciplinar de educación patrimonial (Trabajo y Cuenca, 2022), que parte del patrimonio del entorno próximo del alumnado para la integración de contenidos de distintas disciplinas con el objetivo de dar respuesta a la pregunta principal: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?».

Esta situación de aprendizaje, en línea con los objetivos generales de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria, establecidos en el Real Decreto 217/2022, pretende que el alumnado conciba el conocimiento científico como un saber integrado que permite aplicar métodos para identificar y buscar soluciones a las problemáticas desde los distintos campos del conocimiento y la experiencia. Así, a través de este proyecto, el alumnado analiza su contexto cercano para comprender la interrelación entre el ser humano y el medioambiente, así como los cambios y persistencias en la cultura y la sociedad a lo largo del tiempo (de la Vega Zamorano e Iranzo García, 2021), a través de la implementación conjunta de procesos educativos de indagación, modelización y pensamiento computacional (Campina-López *et al.*, 2023).

Este capítulo aborda la subpregunta de investigación escolar: «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?», explorando en profundidad los elementos y características del ecosistema propio del río Tinto. A través de diversas

actividades, se trabajarán contenidos tanto de Biología como de Geología, diseñados para estudiar y comprender este singular entorno natural.

2. Marco teórico

La etapa de Educación Secundaria puede ser fundamental para consolidar el conocimiento científico del alumnado, así como su capacidad de analizar críticamente los ecosistemas y los fenómenos naturales que los afectan. El funcionamiento de los ecosistemas fluviales ofrece numerosos beneficios al ser humano y poseen un valor cultural como herramienta educativa (Koundouri *et al.*, 2017). Sin embargo, la presión que ejercen las actividades humanas a través de la industria, los usos del suelo, la urbanización, la extracción de agua y la modificación de los cauces radican en afecciones sobre su hábitat, su geomorfología, la química del agua y la estructura biótica (Allan *et al.*, 2021), convirtiéndose, así, en uno de los entornos más amenazados del mundo y haciendo que su restauración, conservación o gestión sea perentoria (Díez López *et al.*, 2024).

El río Tinto se ubica en el suroeste de España en la denominada Faja Pirítica, provincia de Huelva. Se trata de una de las regiones geológicas más importantes del mundo por su concentración de sulfuros masivos y que ha originado un impacto directo en las condiciones del río, debido a minerales presentes como la pirita o la calcopirita. El río y su entorno se declaró un Paisaje Protegido por la Junta de Andalucía mediante el Decreto 558/2004 del 14 de diciembre, debido al gran interés que suscitan las características de su inusual ecosistema fluvial, cuyas aguas son de un intenso color rojo, con un alto contenido en metales pesados y una extrema acidez. A pesar de estas condiciones, ha tenido lugar el desarrollo de organismos extremófilos, tanto en sus aguas con bacterias quimiolitótrofas (que se alimentan de rocas), algas, hongos y protozoos como también en los suelos afectados por estas como es el caso de la presencia de *Erica andevalensis*, un brezo endémico de la zona (Córdoba García, 2022).

Gracias al desarrollo de estos organismos y plantas adaptadas a condiciones no aptas para la mayoría de los seres vivos, el río Tinto se convierte en un «laboratorio natural» de vida extremófila, que ha llegado a ser objeto de estudio para la comunidad científica. El Centro de Astrobiología (CAB), el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), en con-

junto con la NASA, llevan desde 2014 investigando el entorno del río Tinto a través del *Life-detection Mars Analog Project* (LMAP) o «Proyecto de detección de vida en un análogo marciano». Este proyecto se centra en estudiar cómo las condiciones extremas del río Tinto, similares a las de Marte, pueden ofrecer claves sobre la existencia de vida en entornos hostiles, proporcionando un valioso análogo terrestre para futuras misiones de exploración marciana (Sánchez-García *et al.*, 2020).

Por otro lado, el estudio de los ecosistemas desde una perspectiva interdisciplinar es esencial para que el alumnado comprenda las dimensiones científicas y sociales de los problemas ambientales, que afectan tanto a los seres humanos como a otras especies. Es fundamental que desarrollen una comprensión compleja para analizar y tomar decisiones informadas sobre el impacto ambiental, lo que, a su vez, fomenta un pensamiento profundo y les impulsa a proyectar acciones alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) (Cabrera Castillo y Ortiz, 2022). Del mismo modo, en la Orden de 30 de mayo de 2023, en la que se establece el currículo de Educación Secundaria en Andalucía, se fomenta una educación ambiental interdisciplinar y se enfatiza la necesidad de desarrollar en los estudiantes una comprensión integral del medioambiente, enfocándose no solo en la adquisición de conocimiento científico, sino también en la sensibilización activa hacia la conservación de los ecosistemas. Esto entra en consonancia con el ya mencionado Decreto 58/2023, donde se promueve específicamente la difusión de valores naturales, faunísticos, botánicos, paisajísticos y culturales, y la implicación de la población local en la conservación de estos espacios.

3. Descripción y justificación de la controversia

La pregunta que se abordará será: «¿Hay vida en el río Tinto?». El río Tinto y su entorno ha generado una discusión científica en relación con diferentes aspectos como, por ejemplo, la presencia de vida en este entorno y el valor bioecológico de las especies que lo habitan. Respecto a los contenidos de Biología y Geología, la controversia que se planteó al alumnado está basada en si estas condiciones extremas permiten o no la vida y, tras ello, por qué el río es así y qué papel juegan estos organismos en la conservación o restauración del ecosistema.



Figura 1. Fotografía de la visita a la cabecera del río Tinto en la Sierra de Padre Caro (Huelva).
Fuente: elaboración propia.

En el río Tinto (figura 1) y su entorno se llevaron a cabo procedimientos poco eficaces y, sobre todo, poco respetuosos con el medioambiente, debido a la metalurgia del siglo XIX y de la mayor parte del siglo XX. Asimismo, el abandono a la intemperie de restos de materiales muy fragmentados derivados de la actividad minera (las llamadas *escombreras*) también influyeron en la contaminación del río (Córdoba García, 2022). Por otro lado, se han evidenciado procesos naturales de drenaje ácido desarrollado por las bacterias (Olías y Nieto, 2012) que llevan produciéndose desde hace al menos 2 millones de años, según análisis de sedimentos en su desembocadura. Esto ha dado lugar al enfrentamiento de dos posturas científicas sobre la causa principal las actuales características del río:

Estudios como los de Gómez-Ortiz *et al.* (2014) han demostrado la existencia de microorganismos extremófilos que sobreviven en las aguas ácidas del río y se argumenta que las bacterias quimiolitótrofas han sido las responsables principales de las condiciones extremas del río durante millones de años. Además, se considera que la influencia de la actividad minera es secundaria frente a estos procesos biológicos. Para los defensores de esta postura, el río Tinto es un laboratorio natural de biodiversidad extrema, cuyo valor bioecológico y especies endémicas deben ser objeto de protección, ya que la vida en condiciones extremas proporciona una oportunidad única para explorar los límites de la vida y su evolución en ambientes hostiles.

Por otro lado, científicos como Olías y Nieto (2015) argumentan que la actividad minera ha intensificado las condiciones extremas del río, afectando negativamente a su biodiversidad. Consideran que el impacto de la actividad biológica en la situación actual del río es insignificante en comparación con la enorme cantidad de residuos y escombros expuestos como resultado de las actividades mineras llevadas a cabo, especialmente durante los años 1850-2001. Según esta postura, la explotación minera ha aumentado la acidez del agua y ha provocado la pérdida de hábitats. En consecuencia, entienden que es importante desarrollar estrategias de restauración del río para mitigar los efectos de la contaminación y recuperar la calidad de las aguas, así como su biodiversidad perdida.

De esta forma, el estudio del río Tinto como patrimonio controversial adquiere un gran potencial educativo (Cuenca, 2014; Estepa, 2024), ya que permite suscitar debates o conflictos, ya sean de carácter ideológico, político, social, cultural o medioambiental (Arroyo *et al.*, 2022), que favorecen el desarrollo de las competencias específicas mediante el estudio de un ecosistema que ha sido de gran interés para la investigación astrobiológica.

4. Diseño de la propuesta

La situación de aprendizaje titulada «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?» tiene como objetivo principal que el alumnado, a través del estudio de un patrimonio controversial como el río Tinto y su entorno, desarrolle una comprensión profunda y crítica sobre cómo los organismos y las características geológicas del entorno se adaptan a condiciones extremas, además de analizar los procesos naturales y antrópicos que han caracterizado este ecosistema.

La propuesta se realizó a través de un enfoque de indagación guiada en ciencias, a partir de estas cuestiones, con el objetivo de permitir al alumnado desarrollar sus propias ideas gracias a un aprendizaje basado en la experimentación y construir así su conocimiento del mundo natural (Nudelman, 2015). La enseñanza por indagación, junto con la modelización, en su dimensión instrumental, puede ayudar en la construcción de procesos de andamiaje que han de guiar los procesos de enseñanza, ante tareas como conceptualizar, reflexionar, visualizar, ilustrar, representar, etc. (Oliva, 2021). La indagación se considera una actividad esencial para la ciencia erudita que conlleva expresar, usar, evaluar, revisar, predecir y evaluar problemas, situaciones, procesos o conceptos como vía para la comprensión o generación de conocimiento (Campina-López *et al.*, 2023). Ambos enfoques son los más

promovidos por la didáctica de las ciencias actualmente (Soysal, 2021; Couso *et al.*, 2020) y junto a metodologías como la resolución de problemas, el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje interactivo, todo ello mediado por la tecnología, social y cooperativo, permiten al estudiantado acercarse a la alfabetización científica (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018), la cual es el primer paso en el camino hacia el desarrollo de la capacidad de pensar (Martínez-Suárez, 2022).

Así, durante dos semanas, el proyecto se estructuró alrededor de preguntas clave formuladas por el alumnado: «¿Cómo afecta a la fauna y la flora?», «¿Nace contaminado?» y «¿Cómo nos afecta?». Estas preguntas fueron la puerta de entrada al estudio de los parámetros bioecológicos y geológicos del río, así como su caracterización como ecosistema. De esta forma, el alumnado obtendría información relevante que ayudaría a dar respuesta a la primera subpregunta en la que se centra este primer capítulo: «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?».

Tras presentar el río Tinto y realizar una lluvia de ideas, el desarrollo del proyecto se organizó mediante varias misiones que guiaron el proceso de aprendizaje.



Figura 2. Captura de pantalla de un sitio web construido por un grupo de alumnos y alumnas donde describen lo que ven a través de Google Maps.
Fuente: elaboración propia.

6. «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?».

El alumnado realizó una caracterización inicial del río Tinto mediante imágenes aéreas de Google Maps, identificando su nacimiento, desembocadura, morfología y cambios en el cauce (figura 2). También exploraron qué tipo de vegetación y especies animales habitan la zona, formulando, además, hipótesis científicas sobre el origen de la acidez y el color del agua, como parte del proceso del enfoque indagatorio.

Se realizaron búsquedas de información en diversas fuentes y compararon el río Tinto con otros ríos cercanos, como el Odiel, para identificar y caracterizar cada ecosistema fluvial. Asimismo, para conocer cómo afecta a la fauna y flora, estudiaron la biocenosis y la falta de vegetación, además de los organismos extremófilos.

El estudio de la acidez del río y su impacto se desarrolló a partir de preguntas surgidas de su curiosidad, como: «¿Cómo nos afecta?». En concreto, el alumnado investigó en diversas fuentes proporcionadas por el docente, sobre los efectos del pH ácido del río en organismos vivos y, en especial, en el ser humano. A su vez, con el objeto de que el estudiantado conociera el resto de las características fisicoquímicas, se planteó cuáles de ellas eran necesarias para caracterizar cualquier río. Esto dio pie a que cada grupo concretara una característica con su definición, unidad e instrumento de medida. En este sentido, debido a la imposibilidad de adquirir algunos de los instrumentos, se originó la necesidad de construirlos. En concreto, a través de la programación basada en bloques realizada en *Makecode.org*, se construyeron algunos sensores conectados a placas controladoras *BBC Micro Bit,* que se usaron para la toma de datos en una salida de campo al río Tinto.



Figura 3. Fotografías realizadas por alumnos representando con hashtags parte de la geología y biología de la zona.
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, para conocer el origen de su contaminación, investigaron acerca de las dos posturas de la controversia científica y, posteriormente, se realizó una visita a la cabecera del río Tinto. Allí se realizaron fotografías de elementos geológicos y biológicos que etiquetaron y subían las fotos a redes sociales como Instagram usando *#hashtags* (etiquetas) con breves descripciones (figura 3). Además, se recolectaron muestras de agua y suelo en diferentes puntos del río, con la intención de realizar una toma de datos de diferentes parámetros fisicoquímicos en el cauce principal y sus primeros afluentes con los instrumentos digitales construidos y programados por el alumnado.

También se investigó cómo la geología del entorno, especialmente la presencia de sulfuros y minerales pesados, contribuye a las condiciones extremas del río. A su vez, se compararon las características de las formaciones geológicas del río con otros entornos menos hostiles, discutiendo cómo estas diferencias condicionan la vida en cada lugar y se trabajó con un cuaderno de campo en el que documentaron sus observaciones y análisis sobre el ecosistema del río Tinto, utilizando la información obtenida en clase y en la salida de campo para responder a las preguntas planteadas.

Ante la necesidad de comprender cómo afectan cambios de pH y turbidez en el ecosistema, así como de caracterizar la distribución de especies vegetales, como la *Erica andevalensis,* con la ayuda de imágenes de satélite el alumnado consensuó y diseñó una maqueta de la cabecera del río que serviría como modelo que, con los datos y muestras tomadas a lo largo del cauce. Esto propiciaría el desarrollo del ciclo de la modelización (Couso *et al*., 2020), que ayudaría al alumnado a plantear las primeras hipótesis y dar respuesta a preguntas sobre la presencia y condiciones de vida dentro y fuera del río.

Finalmente, las actividades concluyeron con un debate final en el que el alumnado, entre otros ámbitos, discutió los aspectos fisicoquímicos e históricos del río Tinto, posicionándose sobre la necesidad de restaurar el ecosistema para reducir la acidez y recuperar la biodiversidad, o conservarlo tal como es, destacando su valor científico, turístico y educativo.

4.1. Participantes

La situación de aprendizaje en la que se incluye la secuencia didáctica presentada en este capítulo fue implementada en el 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria de un centro concertado de Educación

Infantil, Primaria y Secundaria, situado en Valverde del Camino, municipio de la provincia de Huelva. La clase participante en la experiencia educativa se corresponde con un grupo de 28 estudiantes de entre 15 y 16 años.

Valverde del Camino es una localidad situada en la comarca onubense del Andévalo, en la cual la repercusión de la actividad minera, los cambios sociales y culturales en la Cuenca Minera y las investigaciones y modificaciones en el río Tinto y su entorno son notables. Por ello, además de por la accesibilidad y disponibilidad del equipo docente del centro educativo, este contexto es idóneo para realizar un acercamiento educativo interdisciplinar al río Tinto.

4.2. Instrumento de planificación didáctica: la secuencia

La situación de aprendizaje, compuesta por las tres secuencias didácticas presentadas en este libro, fue diseñada con el objetivo de dar respuesta a la pregunta de investigación escolar: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?» y para contribuir a un doble producto final. Por un lado, el alumnado confeccionó un guion para la grabación de un *podcast* colaborativo en el que plasmar las controversias asociadas al río Tinto y sus reflexiones tras haber estudiado en profundidad el río desde las tres áreas curriculares. Dicho *podcast* participó en el III Concurso Nacional de Podcast Escolar organizado por RTVE y pudo difundirse *a posteriori* entre las familias del alumnado y el resto de la comunidad educativa. Por otro lado, una semana después de la finalización de la situación de aprendizaje, se desplazaron hasta la Universidad de Huelva y expusieron, en la Facultad de Ciencias Experimentales y en la Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte, los resultados de su proyecto, las respuestas a todas las preguntas de investigación planteadas y los aprendizajes adquiridos a través de este.

Desde el área de Biología y Geología, a partir de la subpregunta: «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?», las actividades de la secuencia didáctica se diseñaron para contribuir a las competencias específicas. En concreto, fueron extraídas en su formulación original de la Orden de 30 de mayo de 2023 y trabajadas de la siguiente forma:

- CE 1. Interpretar y transmitir información y datos científicos, argumentando sobre ellos y utilizando diferentes formatos, para analizar conceptos y procesos de las ciencias biológicas y geológicas. El alumnado analiza y discute datos recogidos sobre la geología y ecología

del río Tinto, utilizando diversas herramientas digitales y formatos para comunicar sus hallazgos. Esto incluye la presentación de datos en mapas interactivos, informes escritos y presentaciones orales.

- CE 2. Identificar, localizar y seleccionar información, contrastando su veracidad, organizándose y evaluándola críticamente, para resolver preguntas relacionadas con las ciencias biológicas y geológicas. Este proyecto requiere que el estudiantado busque, seleccione y evalúe críticamente información relevante sobre el río Tinto. A la vez que aprenden a discriminar entre fuentes confiables y menos fiables y a utilizar esta información para respaldar sus análisis y conclusiones.
- CE 3. Planificar y desarrollar proyectos de investigación, siguiendo los pasos de las metodologías científicas y cooperando, cuando sea necesario, para indagar en aspectos relacionados con las ciencias geológicas y biológicas. El alumnado aplica metodologías científicas para diseñar y llevar a cabo investigaciones detalladas sobre diversos aspectos del río, como su biodiversidad, composición química y cambios geológicos a lo largo del tiempo. Este trabajo incluye la planificación, ejecución y revisión de experimentos y estudios de campo.
- CE 4. Utilizar el razonamiento y el pensamiento computacional, analizando críticamente las respuestas y soluciones y reformulando el procedimiento, si fuera necesario, para resolver problemas o dar explicación a procesos de la vida cotidiana relacionados con la Biología y la Geología. En el análisis de datos y la modelización de procesos geológicos y biológicos, el alumnado utiliza el pensamiento computacional. Esto incluye la construcción del *hardware* y programación de *software* para la recogida y análisis de datos, así como la creación de modelos del río, y la simulación de impactos ambientales.
- CE 5. Analizar los efectos de determinadas acciones sobre el medioambiente y la salud, basándose en los fundamentos de las ciencias biológicas y de la Tierra, para promover y adoptar hábitos que eviten o minimicen los impactos medioambientales negativos, sean compatibles con un desarrollo sostenible y permitan mantener y mejorar la salud individual y colectiva, todo ello teniendo como marco el entorno andaluz. El alumnado investiga cómo las actividades humanas, como la minería y la agricultura, han afectado la biodiversidad y la calidad del agua del río Tinto. Proporcionan recomendaciones para mitigar impactos negativos, basándose en principios de sostenibilidad y conservación.

- CE 6. Analizar los elementos de un paisaje concreto valorándolo como patrimonio natural y utilizando conocimientos sobre geología y ciencias de la Tierra, para explicar su historia geológica, proponer acciones encaminadas a su protección e identificar posibles riesgos naturales: el proyecto permite al estudiantado valorar el río Tinto no solo como un sistema natural, sino también como un patrimonio cultural y natural. Asimismo, exploran su historia geológica y proponen medidas para su protección, considerando tanto su importancia ecológica como su relevancia cultural e histórica.

Por otro lado, se han adaptado los saberes básicos de la Orden del 30 de mayo de 2023 para el área de Biología y Geología. En concreto, se estableció una trama (figura 4) en la que se presentan, de forma relacionada los saberes de la secuencia y las competencias específicas –competencia específica 1 (señalada en color azul), competencia específica 2 (señalada en color verde), competencia específica 3 (señalada en color naranja), competencia específica 4 (señalada en color amarillo), competencia específica 5 (señalada en color rojo), competencia específica 6 (señalada en color morado)–.

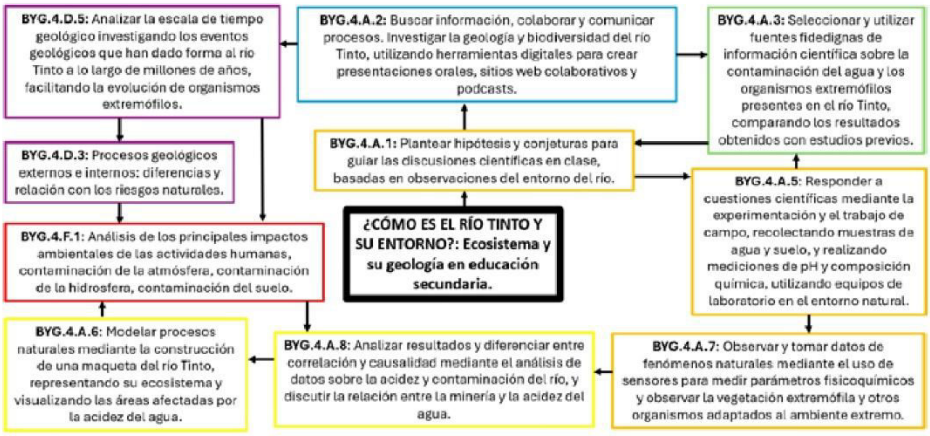


Figura 4. Trama de saberes básicos de la secuencia didáctica.

Fuente: elaboración propia a partir de los saberes básicos de la Orden del 30 de mayo de 2023.

Por tanto, para asegurar el conocimiento, la adquisición y el desarrollo de estos elementos curriculares, se han diseñado e implementado diez actividades (tabla 1) siguiendo las fases propias de las situaciones de aprendizaje.

Tabla 1. Actividades de la secuencia didáctica

Actividad	Fase de la situación de aprendizaje
Actividad 1: Lluvia de ideas sobre la importancia del río Tinto como ecosistema extremo y su biodiversidad única.	Motivación
Actividad 2: Planteamiento de preguntas de investigación por parte del alumnado guiadas por la discusión inicial y su curiosidad sobre el río.	Activación
Actividad 3: Análisis de la morfología y características geológicas del río Tinto usando *Google Maps*.	Exploración
Actividad 4: Investigación en clase sobre los organismos extremófilos y la vegetación única del río Tinto, como *Erica andevalensis*.	Exploración
Actividad 5: Salida de campo al río Tinto para observar directamente su morfología, tomar muestras y realizar mediciones fisicoquímicas con sensores.	Exploración
Actividad 6: Construcción de una maqueta de la cabecera del río Tinto, representando su distribución vegetal y las condiciones extremas que favorecen a *Erica andevalensis*.	Estructuración
Actividad 7: Desarrollo de un sitio web colaborativo que recopila toda la información obtenida durante el proyecto, incluyendo descripciones detalladas de la fauna y flora observadas.	Estructuración
Actividad 8: Debate sobre las implicaciones de conservar o restaurar el río Tinto, basado en la información recogida y los conocimientos adquiridos sobre su biodiversidad única.	Aplicación
Actividad 9: Presentación oral y discusión grupal sobre los hallazgos de la salida de campo y las implicaciones para la conservación del ecosistema del río Tinto.	Conclusión y Comunicación
Actividad 10: Realización de un *podcast* en el que relatan sus experiencias y aprendizajes sobre el ecosistema del río Tinto.	Conclusión y Comunicación

Fuente: elaboración propia

4.3. Instrumento de análisis y evaluación

La evaluación de esta secuencia didáctica se ha caracterizado por ser global, continua y formativa, siguiendo los principios establecidos en la Orden de 30 de mayo de 2023. Los aprendizajes adquiridos por el alumnado se evaluaron a partir de la observación de sus intervenciones en las actividades de clase, la calidad de sus producciones, así como su participación durante las fases de investigación y experimentación.

Se ha utilizado una rúbrica de evaluación que contempla los criterios de evaluación específicos de Biología y Geología, valorando las siguientes dimensiones: la capacidad para interpretar y representar datos sobre los fenómenos biológicos y geológicos del río Tinto; la planificación y desarrollo de experimentos en la salida de campo; el análisis crítico sobre el impacto de la actividad humana en el ecosistema; y el

uso adecuado de herramientas tecnológicas para la recogida y análisis de datos. Además, se valoraron las aportaciones del alumnado en las actividades grupales, como el desarrollo colaborativo de la maqueta del río y la creación del sitio web donde plasmaron sus investigaciones. La capacidad para integrar los conocimientos teóricos en contextos reales, y para participar activamente en los debates sobre la conservación o restauración del ecosistema del río, fue otro aspecto clave en la evaluación. Finalmente, para analizar los resultados de aprendizaje, se utilizó una rúbrica de evaluación que valora de forma progresiva la consecución de cada criterio de evaluación, desde un nivel inicial hasta uno deseable, tal y como se detalla en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Rúbrica de evaluación: instrumento de análisis de los resultados de aprendizaje

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
1.1. Analizar conceptos biológicos y geológicos utilizando diferentes formatos	No logra analizar ni representar los conceptos biológicos o geológicos de manera clara.	Representa de manera básica conceptos biológicos y geológicos, pero con errores o imprecisiones.	Analiza y representa adecuadamente los conceptos de ecología y geología del río Tinto, utilizando gráficos y modelos adecuados.	Realiza un análisis preciso, utilizando distintos formatos (mapas, gráficos, maquetas) para representar los datos de manera clara y estructurada.
1.2. Transmitir opiniones fundamentadas e información sobre Biología y Geología	No transmite información ni opiniones de forma clara ni fundamentada.	Transmite información y opiniones, aunque con escasa fundamentación y dificultad para estructurar los datos.	Transmite opiniones fundamentadas e información relevante sobre el ecosistema del río Tinto, utilizando el formato adecuado.	Comunica claramente sus análisis y opiniones, empleando datos precisos y una terminología científica rigurosa.
1.3. Analizar y representar fenómenos biológicos y geológicos utilizando modelos	No utiliza modelos ni herramientas para representar fenómenos biológicos o geológicos.	Representa algunos fenómenos con modelos simples, pero sin una comprensión clara de los procesos.	Utiliza adecuadamente modelos físicos o digitales para representar fenómenos biológicos y geológicos, como el flujo del río y su acidez.	Crea modelos precisos que muestran cómo interactúan los organismos y el entorno, representando fielmente los procesos observados.
2.1. Localizar, seleccionar y analizar información sobre Biología y Geología	No localiza ni selecciona fuentes de información adecuadas.	Localiza y selecciona fuentes, pero con dificultades para analizarlas críticamente.	Localiza, selecciona y analiza información científica relevante sobre el ecosistema del río Tinto, distinguiendo entre fuentes confiables y no confiables.	Realiza una búsqueda exhaustiva, seleccionando fuentes científicas rigurosas y analizando de manera detallada los datos obtenidos.

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
2.2. Contrastar la veracidad de la información y adoptar una actitud crítica	No logra contrastar la veracidad de la información científica.	Contrasta de forma limitada la veracidad de la información, aunque con algunas imprecisiones.	Contrasta adecuadamente la información sobre el ecosistema del río, detectando teorías no fundamentadas y bulos.	Muestra pensamiento crítico, contrastando rigurosamente la información y desmontando teorías infundadas.
3.1. Plantear preguntas e hipótesis sobre la acidez del río Tinto y sus impactos	No formula preguntas ni hipótesis claras sobre los fenómenos del río.	Plantea preguntas e hipótesis simples sobre la acidez del río y su biodiversidad.	Formula preguntas e hipótesis que exploran adecuadamente la relación entre la acidez del río y su biodiversidad extremófila.	Formula preguntas e hipótesis originales y avanzadas, mostrando un enfoque crítico hacia los impactos humanos y biológicos.
3.2. Diseñar la experimentación y la toma de datos para analizar fenómenos del río Tinto	No diseña adecuadamente la toma de datos ni la experimentación.	Diseña experimentos básicos, pero con limitaciones en la recogida de datos.	Diseña correctamente experimentos y procesos de toma de datos para analizar el ecosistema del río, utilizando sensores y otros instrumentos.	Diseña experimentos rigurosos, optimizando la precisión en la toma de datos y evitando sesgos en el análisis.
3.4. Interpretar y analizar resultados obtenidos sobre el ecosistema del río Tinto	No logra interpretar ni analizar los resultados de los experimentos realizados.	Interpreta los resultados, pero con una comprensión limitada de los datos.	Analiza adecuadamente los resultados obtenidos sobre el pH y la biodiversidad del río, utilizando herramientas matemáticas y tecnológicas.	Realiza un análisis detallado, obteniendo conclusiones bien fundamentadas sobre la relación entre los parámetros fisicoquímicos y la biodiversidad del río.
4.1. Resolver problemas biológicos o geológicos del río Tinto mediante el análisis de datos	No utiliza correctamente los datos ni herramientas, ni comprende la relación entre los parámetros fisicoquímicos y los procesos biológicos o geológicos.	Utiliza algunos datos y herramientas, pero con una comprensión limitada de cómo los parámetros afectan a los procesos biológicos y geológicos.	Utiliza adecuadamente los datos y herramientas tecnológicas para analizar los parámetros del río, mostrando una buena comprensión de la relación entre el pH, la composición química y los organismos del ecosistema.	Analiza con profundidad los datos recolectados, identificando relaciones complejas entre los parámetros fisicoquímicos y los procesos biológicos y geológicos.
5.1. Analizar los impactos de la actividad humana en el ecosistema del río Tinto	No logra identificar los impactos de la actividad humana en el ecosistema.	Reconoce algunos impactos de la actividad humana, pero sin comprender totalmente sus consecuencias.	Analiza adecuadamente los efectos de la actividad minera y otras acciones humanas en la biodiversidad y la calidad del agua del río Tinto.	Realiza un análisis crítico de los impactos humanos, proponiendo soluciones científicas y sostenibles.

6. «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?».

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
6.2. Analizar el paisaje del río Tinto, valorando su importancia como patrimonio natural y científico controversial	No logra analizar el paisaje ni comprender su importancia como patrimonio controversial.	Realiza un análisis básico del paisaje, reconociendo algunos aspectos de su valor natural.	Analiza adecuadamente el paisaje del río Tinto, valorando su importancia como un patrimonio natural y científico controversial.	Analiza en profundidad el paisaje, proponiendo medidas para su conservación como patrimonio natural y científico controversial.

Fuente: elaboración propia a partir de los criterios de evaluación de la Orden de 30 de mayo de 2023

Por otro lado, se presenta un segundo instrumento teórico-metodológico de análisis (tabla 3) que evalúa la profundidad de las nociones que el alumnado presenta sobre la interacción del ser humano con el medio, el río Tinto y su entorno, así como los aspectos biológicos y geológicos trabajados a lo largo de la secuencia.

Tabla 3. Sistema de categorías: instrumento teórico y metodológico de análisis de la situación de aprendizaje

	Subcategoría	Indicadores	Descriptores
I. ASPECTOS BIOGEOLÓGICOS	1. Ecosistema del río Tinto	Explorador de ecosistemas	Reconoce las principales características del ecosistema del río Tinto, identificando flora y fauna extremófila.
		Investigador de la biota	Relaciona las características del ecosistema con la biota del río, explicando cómo los factores abióticos influyen en la biota.
		Ecólogo del Tinto	Analiza las interacciones ecológicas entre el biotopo y la biota, interpretando cómo las condiciones extremas afectan la biodiversidad.
	2. Suelo y Geología	Iniciado en Geología	Reconoce la composición básica del suelo y la geología de la zona, identificando suelos y rocas presentes en las márgenes del río.
		Geólogo de campo	Relaciona la composición geológica con los procesos químicos, explicando cómo los minerales del suelo influyen en la acidez del agua.
		Geólogo experto	Interpreta los procesos geológicos, explicando cómo estos afectan la erosión, sedimentación y el paisaje de la cuenca del río.

	Subcategoría	Indicadores	Descriptores
I. ASPECTOS BIOGEOLÓGICOS	3. Flora y fauna extremófila	Observador de vida extrema	Identifica organismos extremófilos presentes en el río Tinto, como *Erica andevalensis* y otros organismos adaptados.
		Investigador de extremófilos	Explica la adaptación de los organismos a las condiciones extremas del río, relacionando la acidez del agua con la biota.
		Experto de entornos extremos	Analiza las adaptaciones biológicas en profundidad, explicando cómo la biota extremófila interactúa con su entorno.
	4. Geomorfología y modelado	Iniciado en modelado	Reconoce las principales características geomorfológicas del río, identificando la erosión y sedimentación en sus márgenes.
		Modelador geomorfológico	Relaciona la geomorfología del río con los procesos de erosión y sedimentación, explicando cómo afectan al paisaje.
		Experto geomorfológico	Interpreta los procesos geomorfológicos y su impacto en el paisaje, analizando los cambios a lo largo del tiempo.
II. INTERACCIÓN SER HUMANO-MEDIO	5. Impacto del ser humano en el río Tinto y su entorno	Observador histórico	Reconoce los principales eventos históricos relacionados con la minería y su influencia en el río.
		Intérprete de consecuencias	Analiza las consecuencias medioambientales y sociales de la actividad minera en el ecosistema del río Tinto.
		Crítico del equilibrio ecosistémico	Evalúa críticamente el impacto global de la minería y otras intervenciones humanas en el ecosistema del río, proponiendo soluciones.

Fuente: elaboración propia

5. Análisis y discusión

El desarrollo de esta situación de aprendizaje se centra en contenidos del área de Biología y Geología, combinada con la indagación científica y el enfoque crítico sobre la conservación del patrimonio ambiental. El alumnado ha sido capaz de aplicar conceptos teóricos y científicos a situaciones reales, como el análisis del río Tinto, un ecosistema controversial en el que confluyen factores naturales y antrópicos. Este enfoque coincide con los estudios de Koundouri *et al.* (2017), quienes destacan la relevancia de comprender los ecosistemas fluviales desde una perspectiva holística, integrando el impacto humano y los procesos naturales.

Además, la modelización y el uso del pensamiento computacional en la toma de datos físicos y químicos (Campina-López *et al.*, 2023)

han fomentado el desarrollo en el alumnado de competencias digitales y de habilidades para la resolución de problemas complejos. A su vez, el diseño y la creación de modelos sirvió en gran medida para la representación del impacto de las escombreras como foco fundamental de la situación actual del río. Dichos modelos, junto al uso de sensores programados, proporcionaron una plataforma para que el alumnado vinculara el aprendizaje de conceptos abstractos de ciencias, como el *pH* y los procesos que contribuyen a la acidez del medio, a realidades tangibles.

Por otro lado, es importante destacar que la controversia científica sobre la causa de la acidez del río aportó al alumnado la oportunidad de analizar puntos de vista opuestos sobre el impacto de la actividad minera y biológica. Esta discusión científica, aplicada en el aula, permitió a los estudiantes no solo comprender la complejidad del ecosistema del río Tinto, sino también involucrarse en debates sobre la restauración y conservación, alineándose con los ODS que promueven la preservación del medioambiente.

6. Conclusiones

La secuencia didáctica diseñada para dar respuesta a la subpregunta de investigación: «¿Cómo es el río Tinto y su entorno?» ha permitido al alumnado no solo adquirir conocimientos sobre Biología y Geología, sino también desarrollar un pensamiento crítico en torno a problemas sociocientíficos ligados a patrimonios, tal y como ya indicaban Cuenca (2014) y Estepa (2024). En concreto, el uso de herramientas tecnológicas, la experimentación práctica, y el debate basado en evidencias científicas han sido clave para que internalicen el conocimiento científico de manera aplicada y contextualizada.

La capacidad del alumnado para formular y dar respuesta a las preguntas planteadas a lo largo del proyecto pone de manifiesto el potencial de metodologías de indagación, fomentando un aprendizaje más autónomo y participativo, permitiendo que el alumnado se involucrara en su propio proceso de aprendizaje.

Por otro lado, a raíz de los resultados que ofreció el debate, así como las actividades de aula y de campo realizadas, se puede considerar que el alumnado logró conectar conceptos abstractos como el *pH* y la *acidez* con el impacto en la biodiversidad y la calidad del agua. Asimismo, la combinación de actividades de campo (figura 5), análisis de datos y el desarrollo de una metodología basada en la modelización a través de su ciclo permitió una comprensión profunda del ecosistema del río Tinto y su importancia tanto científica como social y económica.

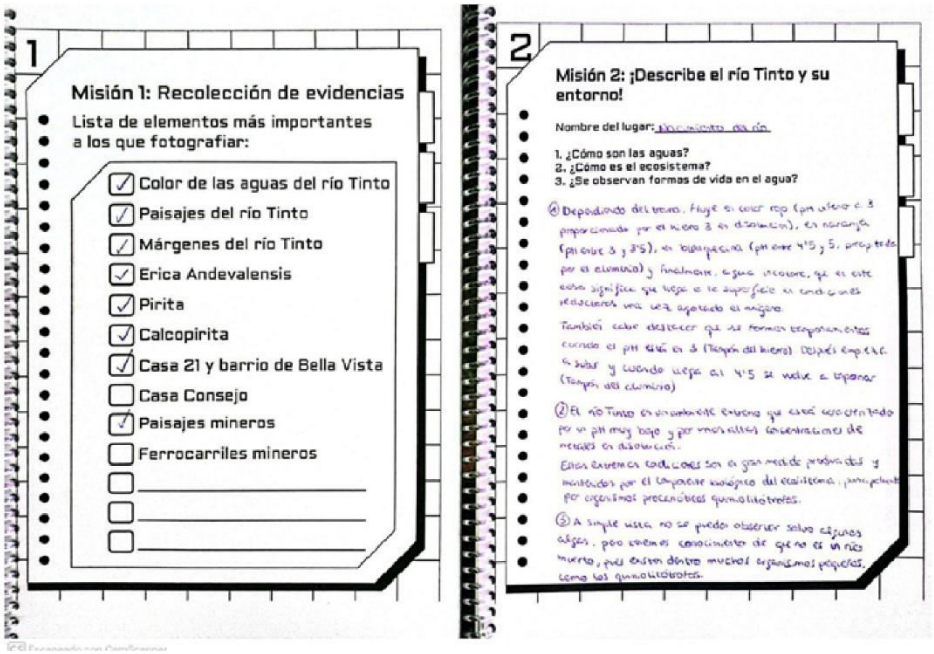


Figura 5. Imágenes de algunos de los cuadernos de campo del alumnado.
Fuente: elaboración propia.

Por tanto, este proyecto fomentaría una visión integral del aprendizaje, alineada con los principios de la educación científica interdisciplinar y los ODS, promoviendo en el alumnado no solo la adquisición de conocimientos, sino también la capacidad de tomar decisiones informadas sobre problemas ambientales contemporáneos.

7. Referencias

Allan, J. D., Castillo, M. M. y Capps, K. A. (2021). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3

Arroyo, 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

Cabrera Castillo, H. y Ortiz, L. (2022). *Tendencias de investigaciones educativas entre 2016-2021 realizadas en la escuela secundaria sobre el tópico Ecosistemas. Enseñanza de las Ciencias* (pp. 124-133). Universidad de Alcalá.

Campina-López, A., Marín, A. A. L. y Pérez, M. Á. de las H. (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), art. 1. https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493

Córdoba García, F. (2022). Las bacterias extremófilas de los ríos ácidos de Huelva. *Biología de Huelva: Naturaleza, Biodiversidad, Bioindicadores y Biomarcadores* (pp. 17-50). Universidad de Huelva. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8574433

Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (2020, 5 de marzo). *Enseñando ciencia con ciencia*. FECYT. https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Cuenca López, J. M. (2014). El papel del patrimonio en los centros educativos: Hacia la socialización patrimonial. *Tejuelo: Didáctica de la Lengua y la Literatura. Educación*, *19*, 76-96. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4725269

De la Vega Zamorano, E. e Iranzo García, E. (2021). El patrimonio y paisaje del agua de l'Horta Sud como recursos para una propuesta didáctica. *Cuadernos Geográficos*, *60*(2), art. 2. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i2.15950

Decreto 558/2004, de 14 de diciembre, por el que se declara el Paisaje Protegido de Río Tinto. *Boletín oficial de la Junta de Andalucía*, *10*, de 10 de enero de 2005. https://www.juntadeandalucia.es/boja/2005/10/2

Díez López, J. R., Rúa, D., Barrutia Sarasua, O. y Ortega Lasuen, U. (2024). Concepciones del profesorado y alumnado de Secundaria sobre los ecosistemas fluviales y su gestión. *31 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales: Hacia una educación científica alineada con la Agenda 2030, 2024* (pp. 517-523). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9697922

Estepa, J. (2024). Educar en memoria histórica y democrática a través de la educación patrimonial: El antipatrimonio. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, *14*, art. 14. https://doi.org/10.17398/2531-0968.14.01

Gómez-Ortiz, D., Fernández-Remolar, D. C., Granda, Á., Quesada, C., Granda, T., Prieto-Ballesteros, O., Molina, A. y Amils, R. (2014). Identification of the subsurface sulfide bodies responsible for acidity in Río Tinto source water, Spain. *Earth and Planetary Science Letters*, *391*, 36-41. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.01.022

Koundouri, P., Boulton, A. J., Datry, T. y Souliotis, I. (2017). Chapter 5.2–Ecosystem Services, Values, and Societal Perceptions of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. En: T. Datry, N. Bonada y A. Boulton (eds.). *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams* (pp. 455-476). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00018-8

Martínez-Suárez, D. G. (2022). Pensamiento científico en la educación secundaria: Acercamiento al estado de la cuestión. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, *14*(27). https://www.redalyc.org/journal/5343/534371259005/html/

Nudelman, N. S. (2015). Educación en ciencias basada en la indagación. *CTS: Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, *10*(28), 11-22. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5130049

Olías, M. y Nieto, J. M. (2015). Background Conditions and Mining Pollution throughout History in the Río Tinto (SW Spain). *Enviroments*, *2*, 295-316. https://doi.org/10.3390/environments2030295

Olías, M. y Nieto, J. M. (2012). El impacto de la minería en los ríos Tinto y Odiel a lo largo de la Historia. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, *25*(3-4), 177-192.

Orden de 30 de mayo de 2023, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 104*, de 2 de junio de 2023. https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/104/36.

Real Decreto 217/2022 de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado, 76*, de 30 de marzo de 2022. https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con

Sánchez-García, L., Fernández-Martínez, M. A., Moreno-Paz, M., Carrizo, D., García-Villadangos, M., Manchado, J. M., Stoker, C. R., Glass, B. y Parro, V. (2020). Simulating Mars Drilling Mission for Searching for Life: *Ground-Truthing* Lipids and Other Complex Microbial Biomarkers in the Iron-Sulfur Rich Río Tinto Analog. *Astrobiology*, *20*(9), 1029-1047. https://doi.org/10.1089/ast.2019.2101

Soysal, Y. (2021). Talking Science: Argument-Based Inquiry, Teachers' Talk Moves, and Students' Critical Thinking in the Classroom. *Science & Education*. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00163-1

Trabajo, M. y Cuenca, J. M. (2022). Educación patrimonial y sostenibilidad: un estudio de caso en enseñanza secundaria obligatoria. *Educação & Sociedade*, *43*, e255220. https://doi.org/10.1590/ES.255220

Vázquez Alonso, Á. y Manassero Mas, M. A. (2018). Más allá de la comprensión científica: Educación científica para desarrollar el pensamiento. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, *17*(2), 309-336. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6449623

8. Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto «La controversia sociocientífica del Río Tinto como recurso para la generación de identidad en los estudiantes: ¿Conservar o restaurar?», aprobado en la convocatoria 2022/2023 para proyectos de innovación docente e investigación educativa de la Universidad de Huelva. Así es parte del proyecto I+D+i «Patrimonios controversiales para la formación ecosocial de la ciudadanía. Una investigación de educación patrimonial en la enseñanza reglada (EPITEC2)» (PID2020-116662GB-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, y del proyecto I+D+i «Conocimiento especializado en la formación del profesorado de matemáticas, ciencias experimentales y ciencias sociales (MTSK-STSK-SCTSK)» (ProyExcel_00297), de la convocatoria de subvenciones a proyectos I+D+i universidades y entidades públicas de investigación 2021 de la Junta de Andalucía, y se enmarca en el Centro de Investigación en Pensamiento Contemporáneo e Innovación para el Desarrollo Social (COIDESO) y del grupo DESYM (HUM-168) de la Universidad de Huelva.

Por último, queríamos agradecer encarecidamente al equipo docente del colegio concertado María Auxiliadora de Valverde del Camino y a todos los coordinadores de este proyecto.

4.2.3 ¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?: Patrimonios controversiales y pensamiento histórico en Educación Secundaria. Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales

Tabla 20. Publicación 6.

Campo	Información
Referencia	Campina López, A. C., Arroyo-Mora López, E., & Sampedro-Martín, S. (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 (Cap. 7). Octaedro.
Publicación	Capítulo de libro académico sobre propuestas didácticas centradas en el patrimonio natural de Huelva. *Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales* es un manual en el que se presentan y describen diseños didácticos centrados en elementos controversiales del patrimonio natural de Huelva. Está dirigido tanto a profesionales en formación inicial como a docentes en ejercicio de todas las etapas educativas (Infantil, Primaria y Secundaria). Las propuestas que incluye siguen las directrices de la legislación educativa vigente y desarrollan situaciones de aprendizaje completas. La editorial Octaedro, especializada en educación, publica libros y colecciones que promueven y difunden el conocimiento entre el profesorado universitario y de niveles previos.
Título del libro	*Situaciones de aprendizaje interdisciplinares en patrimonios naturales*
Editorial	Octaedro
ISBN	978-84-1079-063-6
País	España
Sitio web	https://octaedro.com/
Indexación	SPI (Scholarly Publishers Indicators): 2022 – Q1 Nacional (1/29 en Educación)

7. «¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?»: patrimonios controversiales y pensamiento histórico en Educación Secundaria

Alejandro Carlos Campina López
Universidad de Huelva, alejandro.campina@ddi.uhu.es

Elisa Arroyo Mora
Universidad de Huelva, elisa.arroyo@ddi.uhu.es

Sergio Sampedro-Martín
Universidad de Huelva, sergio.sampedro@ddi.uhu.es

1. Introducción

Este capítulo forma parte, al igual que el anterior y el posterior, de una misma situación de aprendizaje desarrollada en el 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria cuyo centro de interés y contexto de enseñanza-aprendizaje es el río Tinto y su entorno natural, cultural y social. La situación de aprendizaje se configura como un proyecto interdisciplinar de educación patrimonial (Trabajo y Cuenca, 2022), que parte del patrimonio del entorno próximo para la integración de contenidos de distintas disciplinas con el objetivo de dar respuesta a la pregunta general: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?».

Esta situación de aprendizaje, en la línea con los objetivos generales de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria, establecidos en el Real Decreto 217/2022, pretende que los estudiantes conciban el conocimiento científico como un saber integrado que permite aplicar métodos para identificar y buscar soluciones a las problemáticas desde los distintos campos del conocimiento y la experiencia. Así, a través de este proyecto, el alumnado analiza su contexto cercano para comprender la interrelación entre el ser humano y el medioambiente, así como los cambios y permanencias en la cultura y la sociedad a lo largo del tiempo (De la Vega e Iranzo, 2021), a través de la implementación conjunta de procesos educativos de indagación, modelización y pensamiento computacional (Campina-López *et al.*, 2023).

Este capítulo responde a la subpregunta de la situación de aprendizaje: «¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo el río Tinto y su entorno?», explorando los elementos del patrimonio cultural de la localidad de Minas

de Riotinto (Huelva). A través de diversas actividades, se trabajan contenidos de Geografía e Historia, con un enfoque en los cambios históricos y sociales derivados de la interacción de distintas culturas en la zona.

2. Marco teórico

La experiencia educativa presentada en este capítulo busca contribuir al pensamiento geográfico e histórico de los estudiantes de Educación Secundaria. Según Llancavil y González-Quitulef (2021), el pensamiento geográfico va más allá de las nociones espaciales, facilitando el conocimiento de los lugares y la acción en el territorio. Trabajar conceptos geográficos en el entorno próximo y analizar controversias sociocientíficas asociadas al territorio (Paz y Puig, 2020) promueve el compromiso y la valoración del patrimonio, así como el sentido de pertenencia a su contexto social y natural (Crespo *et al.*, 2021).

En cuanto a la enseñanza de la historia, Santisteban (2010) resalta que su fin es proporcionar herramientas para analizar y comprender el pasado, lo que facilita entender el presente y gestionar el futuro. Este enfoque fomenta una conciencia histórico-temporal y la interpretación crítica de la historia a partir de fuentes diversas (Santisteban *et al.*, 2010; Carretero, 2023). En este marco, el patrimonio y el territorio se configuran como fuentes clave para la enseñanza de la geografía y la historia (Hernàndez-Cardona, 2003) y como recursos educativos que ayudan a comprender las culturas presentes y pasadas (Cuenca, 2014).

La educación patrimonial permite, tal y como afirman Cuenca *et al.* (2011), acercar a los estudiantes al conocimiento de la realidad sociohistórica y natural, aúna territorio y emociones (Miedes *et al.*, 2014), genera procesos de identidad colectiva y de construcción de una memoria cultural (Llull-Peñalba, 2010) y promueve la formación de una ciudadanía crítica y participativa en su entorno (Lucas y Estepa, 2016). Para alcanzar esa finalidad, Estepa y Martín-Cáceres (2018) proponen integrar los *patrimonios controversiales* en la enseñanza, entendidos como elementos que suscitan debate o controversias de carácter ideológico, económico, social, cultural, político o medioambiental (Arroyo *et al.*, 2022; Sampedro-Martín *et al.*, 2023a).

De este modo, los ejes que vertebran la presente situación de aprendizaje son los patrimonios controversiales y el pensamiento geográfico e histórico a través de un proyecto globalizador, que tiene como actividades principales la realización de un itinerario didáctico patrimonial (De la Vega e Iranzo, 2021) y el desarrollo de un debate final como estrategia para abordar cuestiones controversiales y para fomentar el pensamiento

reflexivo y crítico (Kerr y Huddleston, 2016; Kuhn *et al.*, 2016; Pagès, 2019).

3. Descripción y justificación de la controversia

La localidad de Minas de Riotinto, en la Cuenca Minera de Huelva, ha sido históricamente un centro de actividad minera y metalúrgica, generando un paisaje natural y cultural cambiante desde la Edad del Cobre (Delgado-Domínguez, 2020). El río Tinto, conocido por el color de sus aguas, sigue siendo objeto de controversia sociocientífica e interés por disciplinas como la geología, biología y química, incluyendo investigaciones de la NASA por la similitud con Marte (Fernández-Remolar *et al.*, 2005).



Figura 1. Fotografía de la visita al Club Inglés.
Fuente: elaboración propia.

A nivel cultural, social y, por ende, patrimonial, el mayor cambio ocurrió en 1873 con la llegada de la compañía inglesa Río Tinto Company Limited, que transformó el municipio con una clara influencia británica en lo económico, social y patrimonial (Maurín, 2016). Según Rodríguez-Marín (2007), Riotinto replicó procesos coloniales británicos, creando jerarquías entre la compañía y la población local. La arquitectura y espacios de ocio reflejan esta influencia.

El entorno de Riotinto, en este sentido, permite el análisis integral de la sociedad que habitaba la localidad en los siglos XIX y XX y de la idiosincrasia del pueblo actual a partir del estudio del patrimonio natural, histórico y científico-tecnológico y artístico como un mismo hecho sociocultural, desde una perspectiva holística e integradora (Cuenca, 2014).

A su vez, dentro de la clasificación de perspectivas desde las cuales se pueden analizar los patrimonios controversiales, basándonos en la descripción aportada por Estepa *et al.* (2021), Arroyo *et al.* (2022) y Sampedro-Martín *et al.* (2023a), los elementos patrimoniales presentes en Minas de Riotinto podrían considerarse, a su vez, patrimonios interesados y patrimonios sometidos-rescatados. Por un lado, la gestión actual del patrimonio de la localidad, el entorno natural donde se enmarca, la disposición de sus elementos y el propio transcurso y ecosistema del río Tinto podrían suscitar conflictos de intereses en términos económicos, políticos, ideológicos y medioambientales. Por otro lado, la configuración del territorio como resultado de una semicolonización con una amplia presencia de elementos patrimoniales propios de la cultura británica, como el Club Inglés (figura 1), que puede analizarse desde la perspectiva de los patrimonios sometidos-rescatados, por ser resultado de una dominación de la cultura inglesa frente a la autóctona.

De esta forma, la secuencia didáctica presentada en este capítulo incluye el análisis de la intervención humana en el medio, las relaciones de clase y género y la dominación cultural, promoviendo el análisis patrimonial desde una perspectiva crítica y social para formar a una ciudadanía comprometida (Cuenca *et al.*, 2020).

4. Diseño de la propuesta

La secuencia didáctica presentada en este capítulo, correspondiente al área de Geografía e Historia, se configura como uno de los ejes de una situación de aprendizaje más amplia y compleja y que gira en torno a la pregunta de investigación escolar: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?». En el caso concreto de las actividades que a continuación se describen, su diseño pretende que el alumnado dé respuesta a la subpregunta: «¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo el río Tinto y su entorno?».

El proyecto, diseñado para llevarse a cabo durante dos semanas, se trabajó de manera interdisciplinar, integrando los elementos curriculares de las distintas áreas mediante tareas y actividades para resolver problemas de manera cooperativa y activa (Pérez-Aguilar, 2023). Este

capítulo se centra en cómo, a través de una metodología de indagación guiada como enfoque de enseñanza, el alumnado pudo explorar y profundizar en contenidos relacionados con Geografía e Historia, utilizando el río Tinto y su entorno como centro de interés.

Esta secuencia tiene como objetivo principal que, a través del estudio detallado del río Tinto y su entorno, el alumnado adquiera una comprensión crítica de los procesos históricos y sociales que han moldeado esta región. A partir de la exploración del desarrollo industrial, la lucha de clases y las desigualdades de género en la zona, se busca que los estudiantes valoren los elementos del patrimonio natural, histórico y cultural que configuran el entorno del río. Este enfoque fomenta el desarrollo del pensamiento crítico, permitiendo que el alumnado reflexione sobre las implicaciones de la actividad humana en el río y su entorno, tome decisiones fundamentadas y participe activamente en su preservación o restauración.

Las actividades propuestas se organizaron basándose en preguntas planteadas de forma colaborativa por el alumnado. Estas preguntas son, entre otras: «¿Por qué es así?», «¿Cómo nos afecta?» y «¿Podemos usar sus aguas como recurso?». Estas preguntas sirvieron como punto de partida para analizar temas clave como las causas de la contaminación del río Tinto, la influencia de la minería, el uso histórico de sus aguas, la evolución económica de la zona y los trabajos, costumbres y modos de vida vinculados a la llegada de los británicos en 1873 y los inicios de la revolución industrial en la región. Del mismo modo, dichas actividades incluyeron la búsqueda de información histórica en diferentes fuentes proporcionadas por el docente. Además, se organizó una yincana en la que se abordaron eventos relacionados con la llegada de los británicos, la diferenciación de clases sociales y el rol de las mujeres en la sociedad del momento.

Asimismo, con el objetivo de obtener información se llevó a cabo una salida de campo al río Tinto y su entorno, enfatizando en los elementos patrimoniales propios del legado británico en la localidad, como el barrio de Bellavista, construido para los altos cargos de la *Rio Tinto Company Limited* y cuya casa número 21 (figura 2) se convirtió en un museo para las visitas, su exclusivo club social, así como otros monumentos relacionados con la época. Durante la salida, el alumnado empleó redes sociales para compartir fotografías de los elementos patrimoniales y etiquetarlas a través del uso de *#hashtags* con descripciones breves. También se recogió información en los cuadernos de campo, respondiendo a preguntas planteadas previamente.



Figura 2. Fotografías del alumnado visitando la Casa 21.
Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se llevó a cabo un debate en el que se discutieron, junto con los aspectos biológicos, geológicos y fisicoquímicos del río Tinto y su entorno estudiados a partir de las secuencias didácticas diseñadas para las otras áreas curriculares, los aspectos sociales, económicos y patrimoniales trabajados, fomentando y logrando una reflexión crítica y activa por parte del alumnado.

4.1. Participantes

La situación de aprendizaje en la que se incluye la secuencia didáctica presentada en este capítulo fue implementada en el 4.º curso de Educación Secundaria Obligatoria de un centro concertado de Educación Infantil, Primaria y Secundaria, situado en Valverde del Camino, municipio de la provincia de Huelva. La clase participante en la experiencia educativa se corresponde con un grupo de 28 estudiantes de entre 15 y 16 años.

Valverde del Camino es una localidad situada en la comarca onubense del Andévalo en la cual la repercusión de la actividad minera, de los cambios sociales y culturales en la Cuenca Minera y de las investigaciones y modificaciones en el río Tinto y su entorno es notable. Por ello, además de por la accesibilidad y disponibilidad del equipo docente del centro educativo, este contexto es idóneo para realizar un acercamiento educativo interdisciplinar al río Tinto.

4.2. Instrumento de planificación didáctica: la secuencia

La situación de aprendizaje, compuesta por las tres secuencias didácticas presentadas en este libro, fue diseñada con el objetivo de dar respuesta a la pregunta de investigación escolar: «¿Conservar o restaurar el río Tinto?» y de contribuir a un doble producto final. Por un lado, los estudiantes confeccionaron un guion para la grabación de un *podcast* colaborativo en el que plasmar las controversias asociadas al río Tinto y sus reflexiones tras haber estudiado en profundidad el río desde las tres áreas curriculares. Dicho *podcast* participó en el III Concurso Nacional de Podcast Escolar organizado por RTVE y pudo difundirse *a posteriori* entre las familias del alumnado y el resto de la comunidad educativa. Por otro lado, una semana después de la finalización de la situación de aprendizaje, los estudiantes se desplazaron hasta la Universidad de Huelva y expusieron, en la Facultad de Ciencias Experimentales y en la Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte, los resultados de su proyecto y los aprendizajes adquiridos a través de él.

Desde el área de Geografía e Historia, a partir de la subpregunta: «¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo el río Tinto y su entorno?», las actividades de esta secuencia didáctica se han diseñado para contribuir a las competencias específicas de este área, extraídas en su formulación original de la Orden de 30 de mayo de 2023 y trabajas de la siguiente forma:

- CE 2. Indagar, argumentar y elaborar productos propios sobre problemas geográficos, históricos y sociales, desde lo local a lo global. Los estudiantes investigaron la historia de las civilizaciones que explotaron la faja pirítica y los impactos de la minería británica en la región. Se llevó a cabo un análisis de las consecuencias sociales y ambientales de la explotación minera del río Tinto, fomentando un pensamiento crítico sobre cómo la historia de la región sigue afectando la actualidad. El alumnado generó productos, como blogs y presentaciones orales, donde reflexionaron sobre los impactos sociales, incluyendo las relaciones de género y las condiciones laborales de los trabajadores en las minas, especialmente en el siglo XIX.
- CE 3. Conocer los principales desafíos históricos y sociales, identificar sus causas y consecuencias, y realizar propuestas para contribuir al desarrollo sostenible. Los estudiantes analizaron cómo estos grupos utilizaron los recursos naturales de la zona y cómo estos desafíos moldearon la sociedad, la economía y el medioambiente a lo largo del tiempo.

- CE 4. Identificar y analizar los elementos del paisaje y su articulación en sistemas complejos naturales, rurales y urbanos, y promover su conservación. Los alumnos realizaron un análisis detallado del paisaje del río Tinto, utilizando herramientas geográficas como mapas interactivos para interpretar la interacción entre la geografía física y los cambios provocados por la actividad minera.
- CE 5. Analizar críticamente planteamientos históricos y geográficos, explicando la construcción de sistemas democráticos y los principios constitucionales. En relación con los conflictos laborales y las desigualdades sociales surgidas durante la explotación británica en Riotinto, los estudiantes discutieron cómo estos conflictos influyeron en los derechos laborales y las luchas por las libertades en la historia contemporánea de la región. Esta actividad promovió un análisis crítico de la organización social y la participación ciudadana en la región.
- CE 7. Identificar los fundamentos de las identidades propias y ajenas, poniendo en valor el patrimonio material e inmaterial, para fomentar la cohesión territorial. El proyecto permitió a los estudiantes reflexionar sobre la importancia del patrimonio cultural de Minas de Riotinto en la formación de la identidad local. Fomentaron la valoración del patrimonio material e inmaterial como parte de la identidad colectiva.

Asimismo, se han adaptado los saberes básicos de la Orden de 30 de mayo de 2023 para el área de Geografía e Historia y se presentan los contenidos concretos de esta secuencia en la siguiente trama (figura 3) en relación con las competencias específicas –competencia específica 2 (señalada en color azul), competencia específica 3 (señalada en color verde), competencia específica 4 (señalada en color rojo), competencia específica 5 (señalada en color amarillo), y competencia específica 7 (señaladas en color morado)–.

Para contribuir a estos elementos curriculares, se han diseñado e implementado un total de nueve actividades desde el área de Geografía e Historia, estructuradas según las fases de una situación de aprendizaje (tabla 1).

7. «¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?»:

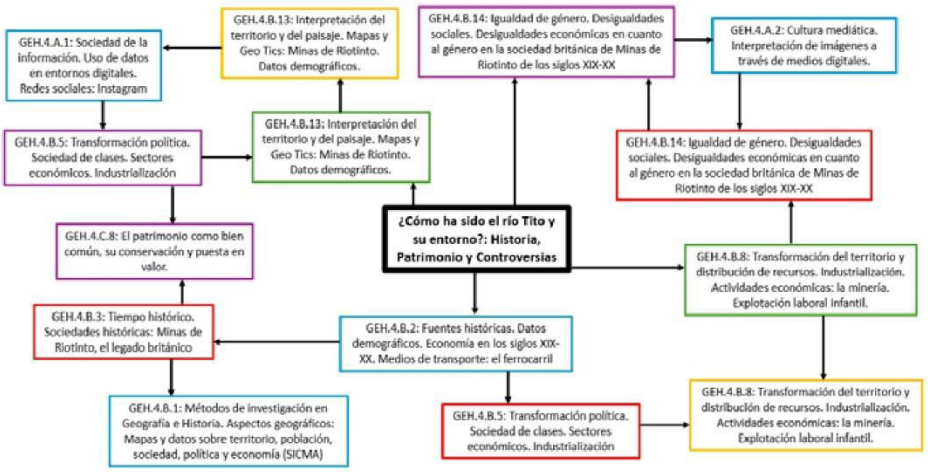


Figura 3. Trama de saberes básicos de la secuencia didáctica.
Fuente: elaboración propia a partir de los saberes básicos de la Orden de 30 de mayo de 2023.

Tabla 1. Actividades de la secuencia didáctica

Actividad	Fase de la SdA
Actividad 1: Lluvia de ideas y reflexión sobre el patrimonio histórico del río Tinto y la importancia de su conservación.	Motivación y Activación
Actividad 2: Investigación sobre la historia de la minería en Riotinto y la influencia británica en la región a través de documentos proporcionados.	Exploración
Actividad 3: Yincana sobre la llegada de los británicos, la diferenciación de clases sociales y el rol de la mujer en la zona.	Exploración
Actividad 4: Salida de campo al río Tinto y su entorno para recoger datos en cuadernos de campo sobre su patrimonio y los cambios y continuidades entre la sociedad pasada y presente.	Exploración
Actividad 5: Creación de una maqueta del río Tinto, representando los aspectos geográficos y patrimoniales trabajados, así como el impacto de la acción humana en el río.	Estructuración
Actividad 6: Desarrollo de un sitio web colaborativo que recopiló la información y tareas realizadas por el alumnado.	Estructuración
Actividad 7: Debate sobre las controversias medioambientales y sociales en torno al río Tinto.	Aplicación
Actividad 8: Realización de un *podcast* donde se sintetizaron los aprendizajes adquiridos durante el proyecto.	Conclusión y Comunicación
Actividad 9: Presentación oral del proyecto, integrando los contenidos trabajados en el aula y durante la salida de campo.	Conclusión y Comunicación

Fuente: elaboración propia

4.3. Instrumento de análisis y evaluación

La evaluación seguida en esta secuencia didáctica se caracteriza por ser global, continua, formativa y criterial, utilizando diversidad de técnicas, actividades e instrumentos para evaluar los aprendizajes adquiridos por el alumnado. Así, para valorar el nivel de desempeño del alumnado, nos servimos, al igual que en las otras secuencias que componen la situación de aprendizaje, del cuaderno de campo utilizado durante la salida de investigación, las producciones resultantes en las distintas actividades, las intervenciones de cada estudiante en el debate final y su contribución al *podcast* y a la exposición final en la Universidad de Huelva. Para valorar los resultados de aprendizaje en esta secuencia didáctica a partir de dichos instrumentos, nos servimos de una rúbrica de evaluación que mide por separado el cumplimiento de cada criterio, siguiendo una hipótesis de avance que abarca desde un nivel básico hasta uno óptimo, tal como se describe en los indicadores de logro (tabla 2).

Tabla 2. Rúbrica de evaluación: instrumento de análisis de los resultados de aprendizaje

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
GEH.4.A.1. Sociedad de la información. Búsqueda y evaluación de fuentes sobre la historia y el impacto ambiental de Riotinto.	Utiliza fuentes poco fiables y no evalúa la información correctamente.	Busca y trata fuentes básicas, pero con análisis limitado.	Evalúa la fiabilidad de las fuentes, realizando un análisis correcto.	Usa múltiples fuentes fiables y realiza análisis crítico detallado.
GEH.4.A.2. Cultura mediática. Análisis de mapas, esquemas y gráficos históricos de Riotinto.	No interpreta correctamente los datos geográficos o históricos.	Interpreta mapas y gráficos con algunas dificultades.	Realiza análisis adecuados de mapas y gráficos.	Ofrece interpretaciones avanzadas y críticas de los datos históricos.
GEH.4.B.3. Tiempo histórico. Construcción e interpretación de líneas del tiempo sobre la historia de Riotinto.	No comprende la cronología de los eventos históricos.	Establece cronologías básicas sin mucha profundidad.	Construye líneas del tiempo detalladas, relacionando eventos clave.	Elabora cronologías complejas que conectan eventos locales y globales.
GEH.4.B.5. Transformación política. Análisis de la evolución de los derechos laborales en la minería.	No identifica las transformaciones políticas ni sus causas.	Describe la evolución de los derechos laborales con detalles limitados.	Analiza adecuadamente los cambios políticos y derechos laborales.	Realiza un análisis profundo de la evolución política y laboral.
GEH.4.B.8. Transformación del territorio. Análisis de cómo la minería ha transformado el paisaje y la sociedad de Riotinto.	No reconoce los impactos de la minería en el territorio.	Identifica algunos impactos sin profundizar.	Analiza los efectos de la minería en la transformación del paisaje.	Ofrece un análisis crítico y propone soluciones sostenibles.

7. «¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?»:

Criterios de evaluación	Indicadores de logro			
	Poco adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Excelente
GEH.4.B.14. Igualdad de género. Análisis de la desigualdad de género en la historia minera de Riotinto.	No reconoce las desigualdades de género en la historia minera.	Identifica algunas desigualdades de género sin mayor análisis.	Analiza las desigualdades de género y su impacto en el contexto minero.	Ofrece un análisis profundo y propuestas de mejora sobre igualdad de género en la minería.
GEH.4.C.8. Patrimonio como bien común. Análisis de la valoración y conservación del patrimonio de Riotinto.	No reconoce el valor ni la importancia del patrimonio.	Identifica algunos aspectos, pero con análisis superficial.	Analiza bien la importancia del patrimonio y su valor para la identidad local.	Ofrece un análisis crítico y propone soluciones innovadoras para su conservación y puesta en valor.

Fuente: elaboración propia a partir de los criterios de evaluación de la Orden de 30 de mayo de 2022

Por otro lado, se ha utilizado un segundo instrumento teórico-metodológico de análisis de las concepciones del alumnado (tabla 3), adaptado de los proyectos I+D+i EPITEC y EPITEC2 (Cuenca *et al.*, 2020; Sampedro-Martín *et al.*, 2023b), que evalúa la profundidad de las nociones que el alumnado presenta sobre el patrimonio, el río Tinto y su entorno y los aspectos históricos trabajados a lo largo de la secuencia.

Tabla 3. Sistema de categorías: instrumento teórico y metodológico de análisis de la situación de aprendizaje

Categorías	Subcategorías	Indicadores	Descriptores
I. CONCEPTO DE *PATRIMONIO*	1. Perspectiva de patrimonio	Fetichista-excepcionalista	Admiración irracional, convirtiéndose en amuleto, objeto de culto o mágico. Escasez, rareza, singularidad y valor crematístico.
		Monumental	Grandiosidad y reconocido prestigio, de elementos vivos y no vivos, materiales o inmateriales.
		Estética	Belleza natural, artística y estilística.
		Temporal	Carácter evolutivo-temporal de los cambios en la naturaleza, especies relictas.
		Diversidad	Riqueza en geobiodiversidad y/o diversidad cultural.
		Simbólico-identitaria	Elementos simbólicos que caracterizan a una sociedad, un entorno natural, la geobiodiversidad.

Categorías	Subcategorías	Indicadores	Descriptores
I. CONCEPTO DE *PATRIMONIO*	2. Tipología patrimonial	Patr. natural-histórico-artístico	Elementos de carácter medioambiental. Referentes arqueológicos y documentales. Manifestaciones correspondientes a los diferentes movimientos estilísticos. Paisajes asociados a ellos.
		Patr. etnológico	Elementos significativos y tradicionales que explican el cambio social y paisajes asociados a ellos.
		Patr. científico-tecnológico	Objetos e instrumentos de la ciencia y componentes tecnológicos e industriales de relevancia social y paisajes asociados.
		Patr. holístico	Consideración global e integrada de todas las manifestaciones anteriores.
II. PATRIMONIOS CONTROVERSIALES	3. Visión del río Tinto y su entorno	Desconocimiento/ negación	Posición de ignorancia ante la existencia de controversia o conflicto que subyace a la manifestación patrimonial, o consideración de que dicha controversia proviene del rechazo a la tradición política, social y cultural.
		Conocimiento pasivo	Reconocimiento de la problemática asociada al elemento o manifestación patrimonial mostrando una postura de neutralidad excluyente e inacción personal y social.
		Posicionamiento crítico	Actitud de parcialidad comprometida ante las injusticias sociales y ecológicas asociadas a la controversia patrimonial sin que ello implique la participación o acción para el cambio ecosocial.
		Compromiso ecosocial	Participación en las acciones sociocientíficas que promuevan cambios estructurales en la gestión de los patrimonios controversiales para una transformación ecosocial basada en los principios de equidad y justicia social y ecológica.
III. ASPECTOS HISTÓRICOS Y SOCIALES	4. Historia del río y su entorno	Explorador del pasado	Reconoce los principales hitos históricos relacionados con la explotación minera en Riotinto y su impacto en el paisaje y las sociedades.
		Analista de transformaciones sociopolíticas	Establece relaciones entre la actividad minera y los cambios geográficos, sociales y políticos en el entorno de Riotinto.
		Historiador de cambios sociales	Analiza cómo la minería ha transformado profundamente la estructura social de la región, haciendo énfasis en las diferencias de clase y género.

7. «¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?»:

Categorías	Subcategorías	Indicadores	Descriptores
III. ASPECTOS HISTÓRICOS Y SOCIALES	5. Historia de la Explotación de la Faja Pirítica	Explorador de Tartessos	Reconoce el uso de técnicas rudimentarias por los Tartessos en la explotación superficial de cobre y otros minerales, orientada a la expansión comercial.
		Comerciante fenicio	Comprende el uso de técnicas avanzadas por los fenicios, quienes impulsaron la extracción minera con fines comerciales y conexión mediterránea.
		Ingeniero romano	Analiza el uso de técnicas romanas, como la minería subterránea y la hidráulica, que permitieron la explotación intensiva de cobre y plata, usando mano de obra esclava.
		Industrial británico	Evalúa el uso de maquinaria avanzada por los británicos en el siglo XIX, destacando la explotación a escala industrial, construcción de ferrocarriles y extracción de pirita y ácido sulfúrico.
IV. INTERACCIÓN SER HUMANO-MEDIO	6. Impacto del ser humano en el río Tinto y su entorno	Observador histórico	Reconoce los principales eventos históricos relacionados con la minería y su influencia en el río.
		Intérprete de consecuencias	Analiza las consecuencias medioambientales y sociales de la actividad minera en el ecosistema del río Tinto.
		Crítico del equilibrio ecosistémico	Evalúa críticamente el impacto global de la minería y otras intervenciones humanas en el ecosistema del río, proponiendo soluciones.

Fuente: instrumento adaptado de los trabajos de Cuenca *et al.* (2020) y Sampedro-Martín *et al.* (2023b)

5. Análisis y discusión

El análisis del proyecto educativo en el contexto del río Tinto permite reflexionar sobre el impacto del uso de patrimonios controversiales en la enseñanza de contenidos históricos y geográficos. El enfoque interdisciplinar, a partir del uso conjunto de metodologías de indagación, modelización y pensamiento computacional, ha facilitado la comprensión del entorno sociohistórico y natural por parte de los estudiantes del último curso de Secundaria. A través del estudio de las civilizaciones que explotaron la faja pirítica a lo largo de los siglos, como los tartessos, fenicios, romanos y británicos, los alumnos desarrollaron una visión crítica de los efectos de la explotación minera y su repercusión en la transformación del paisaje y la sociedad.

El análisis geográfico e histórico que se llevó a cabo en las actividades presentadas permitió que el alumnado comprendiera la interacción entre la geografía física del río Tinto y la acción humana, especialmente en relación con los procesos de colonización industrial británica en la

región. El uso de fuentes históricas, salidas de campo y debates enriqueció el aprendizaje, permitiendo a los estudiantes analizar cómo la actividad minera alteró el entorno natural y social, comprendiendo la interrelación entre las distintas manifestaciones patrimoniales de la localidad desde una perspectiva sistémica (Cuenca, 2014).

En cuanto a los aspectos sociales, el proyecto fomentó una conciencia crítica sobre la estructura de clases que surgió en Riotinto bajo la influencia británica. Las jerarquías laborales y sociales se intensificaron, con una división marcada entre los trabajadores locales y las clases altas británicas, lo que generó una sociedad profundamente desigual. Este enfoque permitió a los estudiantes reflexionar sobre los efectos sociales de la explotación minera, comprendiendo las tensiones entre los intereses económicos externos y las necesidades de la población local (figura 4).

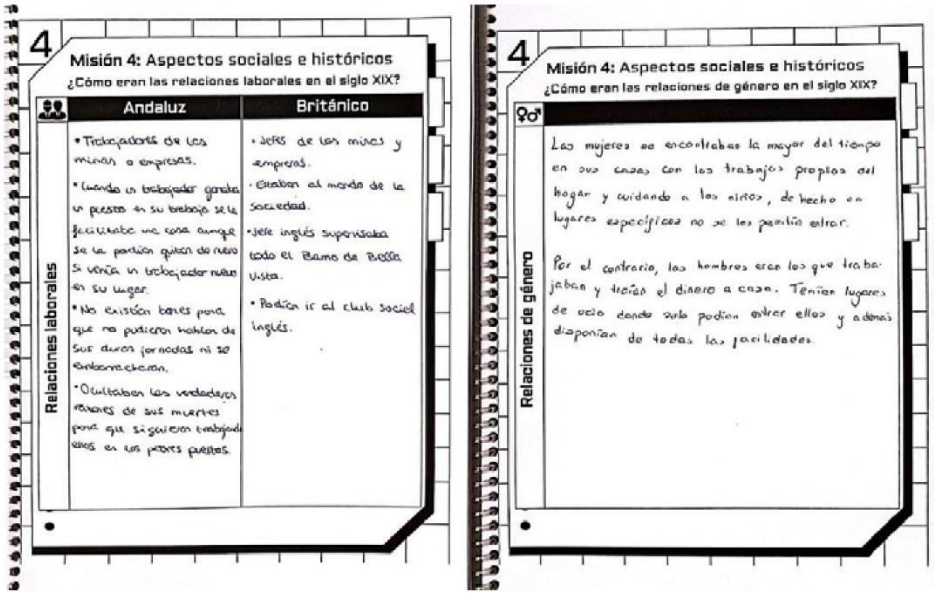


Figura 4. Imágenes de algunos de los cuadernos de campo del alumnado.
Fuente: elaboración propia.

Además, la incorporación al análisis histórico del estudio de las desigualdades de género fue clave para que los estudiantes reflexionaran sobre el rol de las mujeres en las sociedades que explotaron la faja pirítica, particularmente durante la colonización británica. Este proyecto contribuyó, de esta forma, a crear «una conciencia crítica sobre las desigualdades sociales históricas y sobre cómo los estereotipos constituyen obstáculos para el conocimiento» (Jardón y Soler, 2019: 141).

El uso de debates y reflexiones permitió que los estudiantes conectaran estas experiencias históricas con los patrimonios controversiales, considerándolos no solo en términos ambientales, sino también en sus implicaciones sociales y económicas. La discusión sobre los efectos de la minería y la explotación industrial en la vida cotidiana, tanto de hombres como de mujeres, promovió un sentido de pertenencia y compromiso con la preservación del patrimonio y la lucha por la justicia social. Este enfoque integrador, que conecta lo social con lo ambiental y lo histórico, facilitó, al igual que en el trabajo de Trabajo y Cuenca (2022), que los estudiantes desarrollaran una comprensión crítica de su entorno, valorando la historia y el patrimonio desde una perspectiva identitaria y reflexiva.

6. Conclusiones

La secuencia didáctica diseñada para dar respuesta a la subpregunta de investigación: «¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo el río Tinto y su entorno?» e implementada en el 4.º curso de Educación Secundaria, se configuró como una propuesta beneficiosa para el fomento del pensamiento geográfico e histórico del alumnado, así como en su concienciación sobre las consecuencias sociales y culturales de la interacción humana con el territorio.

A partir de la indagación guiada a través de preguntas generadas por el propio alumnado, se promovió la construcción de aprendizajes históricos, culturales y patrimoniales al tiempo que se reforzaba el sentimiento de pertenencia de los estudiantes con su entorno natural y social. Del mismo modo, el desarrollo de distintos tipos de actividades y estrategias y la búsqueda de información a partir de diferentes fuentes primarias y secundarias permitió la aplicación de los contenidos escolares en distintos contextos y una adecuada atención a la diversidad de ritmos de aprendizaje, capacidades e intereses del grupo-clase.

Por último, el trabajo integrado de distintas áreas curriculares permitió el acercamiento al río Tinto y su entorno desde distintas perspectivas, promoviendo una comprensión más holística del patrimonio y de las dinámicas sociales y culturales por parte de los estudiantes, superando las barreras conceptuales que se originan en la segmentación de las materias escolares y propiciando en el alumnado un conocimiento integrado que le permite desplegar herramientas y competencias para entender el mundo en su complejidad y poder dar respuesta a las problemáticas y controversias que se dan en nuestra sociedad actual.

7. Referencias

Arroyo, E., Sampedro-Martín, S., Martín-Cáceres, M. J. y Cuenca, 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.

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), 75-91.

Carretero, M. (2023). Pensamiento histórico e historia global: nuevos desafíos para la enseñanza. En: I. Bellatti, C. Fuentes, P. Miralles y L. Sánchez (coords.). *Las ciencias sociales y su didáctica: pensamiento histórico y educación democrática. Homenaje a Joaquín Prats Cuevas* (pp. 83-90). Octaedro.

Crespo, B., Arroyo, E. y Martín-Cáceres, M. J. (2021). La educación patrimonial en la Educación Secundaria Obligatoria: una propuesta de innovación y participación ciudadana. En: J. M. Cuenca, J. Estepa y M. J. Martín-Cáceres (eds.). *Investigación y buenas prácticas en educación patrimonial entre la escuela y el museo. Territorio, emociones y ciudadanía* (pp. 407-418). Trea.

Cuenca, J. M. (2014). El papel del patrimonio en los centros educativos: hacia la socialización patrimonial. *Tejuelo, 19*, 76-96.

Cuenca, J. M., Estepa, J. y Martín-Cáceres, M. J. (2011). El patrimonio cultural en la educación reglada. *Patrimonio Cultural en España*, *5*, 45-57.

Cuenca, J. M., Martín-Cáceres, M. J. y Estepa, J. (2020). Buenas prácticas en educación patrimonial. Análisis de las conexiones entre emociones, territorio y ciudadanía. *Aula Abierta*, *49*(1), 45-54.

De la Vega, E. e Iranzo, E. (2021). El patrimonio y paisaje del agua de l'Horta Sud como recursos para como recursos para una propuesta didáctica. *Cuadernos Geográficos, 60*(2), 192-213.

Delgado-Domínguez, A. (2020). Cuenca minera de Riotinto (Huelva), paisaje hecho a mano. En: J. L. Lerma, V. M. López-Menchero y A. Maldonado (eds.). *I Simposio anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS España* (pp. 1-7). Universitat Politècnica de València.

Estepa, J. y Martín-Cáceres, M. J. (2018). Competencia en conciencia y expresiones culturales y educación histórica. Patrimonios en conflicto y pensamiento crítico. En: C. Gómez-Carrasco, C. y P. Miralles. *La educación histórica ante el reto de las competencias. Métodos, recursos y enfoques de enseñanza* (pp. 75-86). Octaedro.

Estepa, J., Cuenca, 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. En: J. M. Cuenca, J. Estepa y M. J. Martín-Cáceres

(eds.). *Investigación y buenas prácticas en educación patrimonial entre la escuela y el museo. Territorio, emociones y ciudadanía* (pp. 483-492). Trea.

Fernández-Remolar, D. C., Morris, R. V., Gruener, J. E., Amils, R. y Knoll, A. H. (2005). The Río Tinto Basin, Spain: Mineralogy, sedimentary, geobiology, and implications for interpretation of outcrop rocks at Meridiani Planum, Mars. *Earth and Planetary Science Letters, 240*(1), 149-167.

Hernàndez-Cardona, F. X. (2003). El patrimonio como recurso en la enseñanza de las ciencias sociales. En: E. Ballesteros, C. Fernández, J. A. Molina y P. Moreno (coords.). *El Patrimonio y la Didáctica de las Ciencias Sociales* (pp. 455-466). Asociación Universitaria de Profesores de Didáctica de las Ciencias Sociales (AUPDCS).

Jardón, P. y Soler, B. (2019). La coeducación en los museos: otra perspectiva. En: H. Rausell y M. Talavera (coords.). *Género y didácticas. Una mirada crítica, una aproximación práctica* (pp. 133-157). Tirant lo Blanch.

Kerr, D. y Huddleston, T. (2016). *La enseñanza de temas controversiales.* Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Kuhn, D., Hemberger, L. y Khait, V. (2016). Dialogic argumentation as a bridge to argumentative thinking and writing. *Journal for the Study of Education and Development*, *39*(1), 25-48.

Llancavil, D. y González-Quitulef, H. (2021). Pensamiento geográfico y educación ciudadana en Chile. Una mirada desde la educación geográfica. *Didactae*, *9*, 25-38.

Llull-Peñalba, J. (2010). Jugar en sitios históricos: dos experiencias de educación en tiempo libre e interpretación del patrimonio en Alcalá de Henares. *Pulso*, *33*, 131-159.

Lucas, L. y Estepa, J. (2016). El patrimonio como instrumento para la formación de la ciudadanía crítica y participativa. *Investigación en la Escuela*, *89*, 35-48.

Maurín, M. (2016). Riotinto como colonia inglesa: el orden territorial y el paisaje minero-industrial. *Ería*, *99*(99-100), 265-284.

Miedes, B., Sánchez, C. y Moreno, A. (2014). Escenarios alternativos para las TICS y el conocimiento territorial en el marco de las transiciones socioecológicas: smart cities e inteligencia territorial. ¿Hacia una sociedad del «buen conocer»? En: A. L. Hidalgo y M. Barroso (presidencia). *II Congreso Internacional de Estudios del Desarrollo.* Universidad de Huelva, Huelva, España.

Orden de 30 de mayo de 2023, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad y a las diferencias individuales, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determinan los procesos de tránsito entre las distintas etapas educativas. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 104*, de 2 de junio de 2023.

Pagès, J. (2019). Ciudadanía global y enseñanza de las Ciencias Sociales: retos y posibilidades de futuro. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales, 5*, 5-22.

Paz, A. y Puig, B. (2020). Una secuencia para promover la alfabetización geocientífica y educación patrimonial en secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 17*(2).

Pérez-Aguilar, J. F. (2023). Situaciones de aprendizaje. Naturaleza, significación y alcance. *Avances en Supervisión Educativa*, 39.

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado, 76,* de 30 de marzo de 2022.

Rodríguez-Marín, F. J. (2007). Una historia, un libro, una película: el corazón de la tierra. *Isla de Arriarán: revista cultural y científica, 29*, 247-252.

Sampedro-Martín, S., Arroyo, E., Cuenca, J. M. y Martín-Cáceres, M. J. (2023a). Controversial heritage for eco-citizenship education in Social Science didactics. En: C. J. Gómez-Carrasco (ed.). *Re-imagining the Teaching of European History* (pp. 68-79). Routledge.

Sampedro-Martín, S., Arroyo, E., Cuenca, J. M. y Martín-Cáceres, M. J. (2023b). Gamification and Controversial Heritage: Trainee Teachers' Conceptions. *Sustainability, 15*(10), 8051.

Santisteban, A. (2010). La formación de competencias de pensamiento histórico. *Clío & Asociados: La historia enseñada, 14*, 34-56.

Santisteban, A., González-Monfort, N. y Pagès, J. (2010). Una investigación sobre la formación del pensamiento histórico. En: R. M. Ávila, P. Rivero y P. L. Domínguez (coords.). *Metodología de investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales* (pp. 11-128). Institución Fernando el Católico.

Trabajo, M. y Cuenca, J. M. (2022). Educación patrimonial y sostenibilidad: un estudio de caso en Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educação & Sociedade, 43*.

8. Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto «La controversia sociocientífica del Río Tinto como recurso para la generación de identidad en los estudiantes: ¿Conservar o restaurar?», aprobado en la convocatoria 2022/2023 para proyectos de innovación docente e investigación educativa de la Universidad de Huelva. Asimismo, contribuye a una tesis doctoral dentro del Programa Oficial Interuniversitario de Doctorado en Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Ciencias Sociales, Matemáticas y Actividad Física y Deportiva, vinculada al proyecto I+D+i «Patrimonios controversiales para la formación ecosocial

de la ciudadanía. Una investigación de educación patrimonial en la enseñanza reglada (EPITEC2)» (PID2020-116662GB-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, y al proyecto I+D+i «Conocimiento especializado en la formación del profesorado de matemáticas, ciencias experimentales y ciencias sociales (MTSK-STSK-SCTSK)» (ProyExcel_00297), de la convocatoria de subvenciones a proyectos I+D+i universidades y entidades públicas de investigación 2021 de la Junta de Andalucía. Además, se enmarca en el Centro de Investigación en Pensamiento Contemporáneo e Innovación para el Desarrollo Social (COIDESO) de la Universidad de Huelva, en la Red14: Red de Investigación en Enseñanza de la Ciencias Sociales, (RED2022-134252-T), financiada por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, y en el Grupo de Investigación DESYM (HUM-168 del PAIDI).

Además, queríamos agradecer encarecidamente al equipo docente del colegio concertado María Auxiliadora de Valverde del Camino y a todos los coordinadores de este proyecto.

La segunda autora es beneficiaria de un contrato predoctoral FPI (PRE2021-097822), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por el FSE+. El tercer autor es beneficiario de un Contrato de Formación del Profesorado (FPU20/01886), concedido por MICIU/AEI/10.13039/501100011033. Este trabajo ha podido realizarse gracias a la colaboración y predisposición del profesorado y el alumnado participante y del centro educativo al que pertenecen.

Este capítulo está dedicado a Juanma Gemio, pues, sin su ayuda, simpatía, profesionalidad, predisposición y dedicación, este proyecto no hubiera sido posible.

4.2.4 The concept of pH and its logarithmic scale: A Micro Bit experience through inquiry, modeling, and computational thinking

Tabla 21. Publicación 7.

Elemento	Contenido
Referencia	Campina López, A. C., Lorca Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á., & 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
Título	*The concept of pH and its logarithmic scale: A Micro Bit experience through inquiry, modeling, and computational thinking*
Revista	EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education es una revista científica internacional revisada por pares centrada en la investigación educativa en matemáticas, ciencias y tecnología. Publica estudios empíricos y teóricos sobre innovación educativa, integración de TIC y pensamiento científico.
ISSN	1305-8215 (impreso); 1305-8223 (electrónico)
Idioma	Inglés
País	Turquía
Sitio web	https://www.ejmste.com/
DOI	https://doi.org/10.29333/ejmste/14378
Campo académico	Educación en general; Matemática aplicada
Indizada en	Scopus (Elsevier), IBZ Online (De Gruyter), Education Source Ultimate (EBSCO), Psycinfo (APA)
Evaluada en	ERIHPlus (Norwegian Directorate for Higher Education and Skills); JUFO Portal – Levels 1, 2, 3 (Federation of Finnish Learned Societies); The Register for Scientific Journals – Levels 1, 2 (Norwegian Directorate for Higher Education and Skills)
Métricas	SJR – SCImago (2024): 0.554 (Q2 en Educación y Matemáticas Aplicadas); CiteScore (Scopus, 2024): 4.3; h-index: 63
Políticas OA	Acceso abierto inmediato bajo licencia CC BY 4.0
Difusión	Presente en 1 base de datos de citas (c1): Scopus (Elsevier) Presente en 1 base de datos multidisciplinares (m1): IBZ Online (De Gruyter) Presente en 2 bases de datos especializadas (e2): Education Source Ultimate (EBSCO), Psycinfo (APA) Presente en 3 recursos de evaluación (x3): ERIHPlus, JUFO, Register for Scientific Journals
Difusión total	c1 + m1 + e2 + x3

MODESTUM EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 2024, 20(4), em2424
ISSN:1305-8223 (online)
OPEN ACCESS Research Paper https://doi.org/10.29333/ejmste/14378

The concept of pH and its logarithmic scale: A Micro Bit experience through inquiry, modeling, and computational thinking

Alejandro Carlos Campina López [1*], Antonio Alejandro Lorca Marín [1], María Ángeles De las Heras Pérez [1], Marija Bosnjak Stepanovic [2]

[1] Department of Integrated Didactics, Faculty of Education and Sports Sciences, University of Huelva, Huelva, SPAIN
[2] Faculty of Education in Sombor, University of Novi Sad, Novi Sad, SERBIA

Received 09 October 2023 ▪ Accepted 24 December 2023

Abstract

The present work describes an educational experience carried out in a secondary school in Spain, where the case of Tinto River is presented as a learning scenario to understand the concept of pH and its logarithmic scale. Through the use and programming of controller boards (Micro Bit) and sensors, this study aims to address the underlying level of abstraction and alternative conceptions related to these topics. The intention is to provide practical examples for the development of a teaching-learning sequence based on inquiry, modeling, and computational thinking. This sequence addresses a current socio-scientific issue, while also considering students' comments, and considering the Spanish digital competence model. The analysis includes an evaluation of its strengths, weaknesses, opportunities, and threats. The results indicate that the sequence can be highly motivating in understanding the concepts presented and in acquiring digital competencies. However, it also reveals limitations in terms of time required and the complexity of its design.

Keywords: computer literacy, Micro Bit, science education, modeling, inquiry, computational thinking, pH, STEAM

INTRODUCTION

In today's digital society, the extensive use of technology in various aspects of life highlights the need for the educational system to adapt to this social reality. It's essential to incorporate a more contemporary and comprehensive approach to develop students' digital competencies in chemistry education. Digital technology can help improve chemistry teaching quality in technical, cognitive, and social aspects (Dewi et al., 2021). Digital competence is defined by Spanish education law as the creative, critical, and secure utilization of information and communication technologies to achieve objectives related to work, employability, learning, leisure time utilization, inclusion, and participation in society (LOE, 2020). In this context, educational technology applied to the model of digital competences of natural sciences plays a pivotal role in the emerging didactic model being proposed (Table 1).

Digital literacy encompasses not only scientific concepts but also cultivates critical thinking skills. This is because digital literacy emphasizes reading, writing, comprehension, evaluation, communication, and the utilization of information in various formats (Dewi et al., 2021). In this methodology, the active role of students and the guiding role of educators are key elements of the process. Contexts are presented as essential for generating learning situations that are crucial to the development of expected student behaviors (Lorca Marín et al., 2021).

To develop this digital competence, an experiential learning model has been implemented using sensors and microcontroller boards (such as Micro Bit), which are programmed through block-based programming using freely accessible software.

Effective and creative teaching in STEAM education (science, technology, engineering, arts, and mathematics) is essential to equip students with the ability to apply basic scientific theories to various

© 2024 by the authors; licensee Modestum. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
✉ alejandro.campina@ddi.uhu.es **(*Correspondence)** ✉ antonio.lorca@ddcc.uhu.es ✉ angeles.delasheras@ddcc.uhu.es
✉ 96marija.bosnjak@gmail.com

Contribution to the literature

- This experience arises from the needs that the literature exposes related to the implementation of science teaching-learning sequences, where inquiry and modeling, widely validated (Couso et al., 2020) and considered ideal but rarely implemented in science classrooms, are carried out to develop scientific literacy.
- Likewise, the gap between technological evolution and formal education is growing wider, and concepts such as computational thinking (CT) or digital literacy are now seen as necessary.
- Developing experiences through socio-scientific issues (SSIs) focused on controversial heritages that consider the mentioned concepts provides a new way to approach science content and empower students to create, develop, and use their own digital tools to develop skills and science content that can help structure critical thinking. Thus, we provide a new sequence based on inquiry and modeling, combining it with CT that focuses on problematizing from learning situations aimed at addressing these needs.

Table 1. Digital competences model of Spanish citizens describes the key core of the competence areas, capacities, & performance levels of digital competences for Spanish population (PNCD, 2023)

Model of digital competences of Spanish citiziens	
Competence areas	Competences
1. Scientific information & literacy	1.1. Navigation, search, & filtering of information, data, & digital content related to corpus of scientific knowledge
	1.2. Evaluation of scientific information, data, &d content
	1.3. Storage & retrieval of information, data, & digital content
2. Communication & collaboration	2.1. Interaction through digital technologies
	2.2. Sharing information & digital content
	2.3. Online civic participation
	2.4. Collaboration through digital channels
	2.5. Netiquette
	2.6. Management of digital identity
3. Content creation	3.1. Development of digital content
	3.2. Integration & reworking of digital content
	3.3. Copyright & licenses
	3.4. Programming
4. Security	4.1. Device protection
	4.2. Protection of personal data & digital identity
	4.3. Health protection
	4.4. Environmental protection
5. Problem-solving	5.1. Problem-solving, both technological, & scientific
	5.2. Identification of needs & technological solutions
	5.3. Innovation and creative use of digital technology
	5.4. Identification of gaps in digital skills

technologies and understand their real-world applications from an engineering perspective. This necessitates the development of creative methods and tools, as well as the integration of innovative experiments, which extend beyond the traditional boundaries of STEAM education. It emphasizes the connections between STEAM fields and the relationship between educational theory and its practical application (Park & Ko, 2012).

By fusing CT instruction with STEAM disciplines, students can explore and apply CT skills within a more established and accessible STEAM context. In this way, STEAM can enhance CT learning (Weintrop et al., 2014).

As a learning situation, the study focused on the physicochemical characteristics of Tinto River, a river with red waters and a low pH level located in the Province of Huelva in the southwest of the Iberian Peninsula (Spain). This river presents an SSI as, despite its exceptional peculiarities and its interest as a controversial natural and scientific heritage, it is a polluted river that negatively affects the ecosystem. This fact represents an interest for classroom work as it raises conflicts of ideological, political, economic, and environmental nature that could lead students to reflect, form their own opinions, and critically analyze reality (Arroyo Mora & Cuenca López, 2021). Similarly, heritage education is not an end in itself but should be integrated into the educational process, providing relevant content for many other fields of action such as environmental education or scientific literacy (Cuenca López, 2014).

SSIs involve the use of science and are of interest to society, also raising ethical and moral dilemmas.

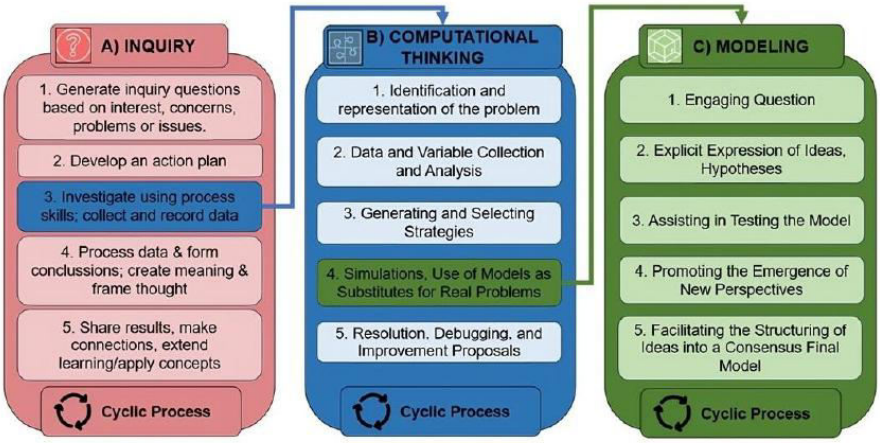


Figure 1. Sequence developed in the (A) inquiry learning cycle (adapted from Hammerman, 2006); (B) computational thinking cycle (Campina-López et al., 2023); & (C) modeling cycle (adapted from Campina-López et al., 2023 and Couso et al., 2020, illustrating process of experimental learning model created by authors)

Introducing such problems presents a significant and usually cross-disciplinary challenge to curriculum developers and teachers (Morris, 2014).

The concept of acidity, pH and the understanding of its logarithmic scale can pose a high level of complexity for many students. Studies like those by Kala et al. (2013) have found the existence of alternative conceptions about pH and pOH concepts among secondary school students, which should be taken into consideration by educators. For example, when converting the pH, which is a logarithmic scale, to a decimal expression, the students tended to think that it was a linear scale and that the addition of distilled water to an acidic solution should have produced a linear increase in the pH value (López-Banet et al., 2021). Furthermore, they think that neutralization always results in a neutral solution and have only a notion of the corrosive aspects of acidity (Lin & Chiu, 2007).

Inquiry, Modeling, & Computational Thinking as Teaching & Learning Models

This experiential learning model combines these three teaching approaches: inquiry, CT, and modeling (**Figure 1**). To carry out an inquiry learning cycle, the process should focus on questions that are of interest to students and that harness the wonder we aim to foster in them (Hammerman, 2006). Thus, the student needs to take ownership of the question, express, justify, and discuss their ideas using different languages, design the search for evidence to contrast their ideas (Martínez-Chico et al., 2017).

CT method helps us solve complex problems with its central focus on developing skills such as abstraction, simplification, and decomposition to generate problem-solving strategies and optimize the process. It enables students to think differently, express themselves through a variety of media, solve real-world problems, and analyze everyday issues from a different perspective (Bocconi et al., 2016). On the other hand, modeling is the learning approach that accompanies research with models in order to apply them, revise them, modify them, and even replace them with different ones if necessary (Justi & Gilbert, 2002). Modeling it's a strategy that enhances conceptual understanding and students' levels of success, helping to eliminate existing misconceptions and generating a positive attitude towards the course and learning (Benzer & Unal, 2021).

With teaching and learning based on models being coherent with personal and social constructivist theories of learning, focusing on students, and where all learning depends on language and communication (Treagust et al., 2004).

Although the sequence of the cycles presented here aids in the design of teaching and learning sequences, it is important to note that it is not necessary to strictly follow the order to carry them out.

Objectives

Within the proposed approach, there is a dual purpose that we can outline in the form of main objectives. Firstly, the goal is to design teaching-learning sequences based on inquiry, modeling, and CT. These sequences are intended to align with the national digital competence plan (**Table 1**) proposed by the Ministry of Economic Affairs and Digital Transformation of the Government of Spain. Additionally, they aim to facilitate the exploration of STEAM content and competencies, where sensors can demonstrate variables related to acidity, pH, and pOH in accordance with known theoretical concepts.

The second objective is to evaluate sequence implemented by participating students, using a SWOT

analysis as primary evaluation tool. It will particularly focus on the compilation and analysis of the students' comments and impressions, which were recorded in their field notebooks. The most common observations from these notes will be used to construct SWOT table. This approach allows for a detailed understanding of students' experiences and perceptions, providing insights into strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with learning sequence.

METHODOLOGY

Participants

The proposal was carried out with 26 students from 4th year of compulsory secondary education at María Auxiliadora School in Valverde del Camino (Huelva, Spain), comprising 15 females and 11 males. The design, implementation, and evaluation of the proposal are contextualized within the subjects of biology, chemistry, geology, and physics. Throughout the process, students analyzed and studied specific topics to construct and define the main domains and their implications in the physicochemical content inherent to the subject. This work was done in teams, enabling students to progressively and engagingly acquire the content related to the concepts of acidity, pH, and pOH as covered in secondary education.

Design

Starting point

The proposal stems from a project examining Tinto River at various levels: biological, geological, physical, chemical, and historical. Its exceptional physicochemical properties, characterized by red waters and a unique ecosystem, mark it as a globally unique heritage. The river, with high metal concentrations, low oxygen, and an extremely acidic pH of around 2.5, has sparked debate over its restoration and preservation. These features also attracted NASA for astro-biological research in environments similar to Mars, through the MARTE (Mars astrobiology Rio Tinto experiment) campaign (NASA, 2018). Furthermore, these characteristics make the river an apt context for pH learning, among other educational aspects.

But why is this so? Has it been this way since its origin? How do its waters affect the ecosystem? Is it a polluted river? Why? How would it affect us? These were some of the questions raised by the students themselves and, apart from being the starting point of their investigation, it was also considered, with the guidance of the teacher, that they needed to explore the physico-chemical characteristics necessary to characterize river waters, considering their units of measurement and the instrument used for measurement. Can we build our own measuring instruments? The teacher would present the possibility of constructing and programming their own tools to measure river characteristics using sensors and taking water samples at different points in the river's source (with special attention to its first two tributaries) and along its course.

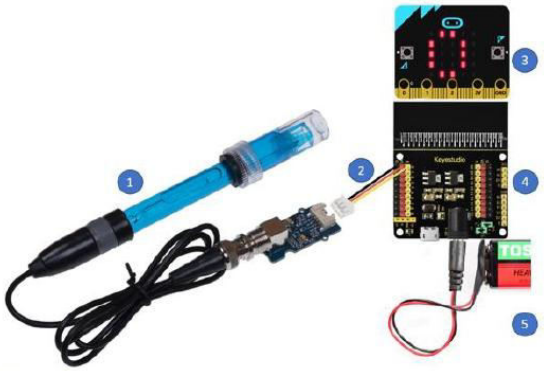


Figure 2. Setup diagram of pH measurement device: (1) pH sensor with probe & sensor module; (2) Three-pin power cable; (3) Micro Bit board; (4) External device connection extender board for Micro Bit; & (5) Battery or power source (Source: Authors' own elaboration)

Resources & Materials: Micro Bit, pH Sensor, & Art Supplies

The use of microcomputer based laboratory sensors or data acquisition equipment allows students to complete activities that are difficult to implement, as well as enabling them to study chemical phenomena outside the educational center (Aksela, 2011). These sensors cover a variety of measurements, allowing the exploration of different aspects of the secondary education curriculum (Caamaño, 2011). For the project's development, one session was devoted to handling Micro Bit boards and the pH sensor (**Figure 2**), as well as MakeCode programming environment.

Hardware

Micro Bit is an open-source hardware system based on ARM designed by BBC for use in computer education in the United Kingdom. Its low cost and small size were crucial factors in its selection. In our case, we used the V2 model.

As for the digital pH sensor, it's the "0vfz2rqcnx" model, which incorporates the pH sensor module and the pH probe consisting of a pH glass electrode and a silver chloride reference electrode.

Software

MakeCode is an open-source programming platform for creating computer science learning experiences. It enables programming with blocks or text (JavaScript).

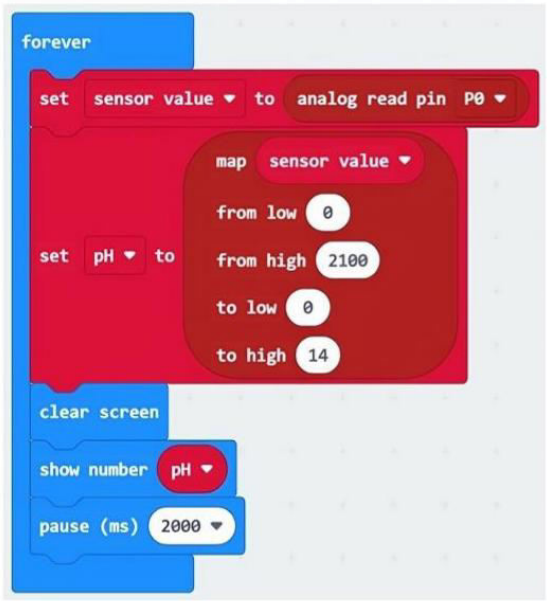


Figure 3. Block programming sequence of pH sensor through MakeCode (Source: Authors' own elaboration)

As shown in **Figure 3**, the process begins by creating the "sensor value" variable to read the analog input of the sensor, in our case, pin 0. A "pH" variable is created to map the value from zero to 2100 (depending on the sensor) to a value between zero-14. The screen is cleared, the pH value is displayed, and a two-second pause is introduced. It's important to clarify these sensors are not highly accurate, and the use of pH test strips is advised to verify the obtained data. Calibration of the probe with control substances and, if necessary, adjusting the sensor's potentiometer until the expected value is reached is required. Materials for model construction: The creation of a model primarily required carpenter's glue, newspaper, acrylic paints, plastic bottles, silicone, brushes, and aluminum foil.

Sequence

The design of sequence (see **Table 2**) involved initial review of sequences inherent in inquiry, modeling, and CT approaches. Part of the innovative contribution of this proposal is based on using a STEAM context to introduce experimental science content and SSIs through students' engagement in scientific practices.

Table 2. Summary outline of work sequence undertaken with students (adapted from Lorca-Marín et al., 2021)

Session	Activity	Development of activity
Session 1 (one hour)	1. Observation & questioning activity. Main question: Why is there no visible life in river?	Purpose of school science is to make sense of phenomena occurring around us. Students should be capable of seeking answers to questions posed by their environment. With this activity, we aim to incorporate scientific content into students' reality, contextualized within a real-world situation, & encouraging them to engage in explaining known phenomena that make sense to them.
	2. Hypothesis generation activity	They search some information about river with websites we provide. Starting from alternative conceptions that students may have, as identified in scientific literature (e.g., concepts or calculations of pH as noted in Kala et al. (2013) & Susilaningsih et al. (2020), our aim is to encourage them to verbalize their thoughts, make predictions, & justify their ideas. Hypothesis - "pH is affecting & hindering development of life in river." - "River is polluted." - "I would not put my hand in river because it melts." Questions Why do they say river has a high level of acidity? What is acidity? What is pH? & pOH? How can we measure pH? Why is polluted? What polluted does mean? Is it natural or anthropogenic pollution?
	3. Explanation activity: Do their explanations clarify what happens? Another situation can be posed by modifying variables.	We reflect as a group, & once their models have been explicitly formulated to explain what they believe happens & why, we proceed to seek evidence. Focus is on designing a plan of activity & handling variables. Questions If it had different pH values, could there be life? How does pH level change along course of river? If we could change pH, How could we vary pH level? Answers - "By adding water with a higher pH." Question How will we know when pH is changing? Answers - "By putting a fish in" (this option was discarded). - "Using a pH meter."

Table 2 (Continued). Summary outline of work sequence undertaken with students (adapted from Lorca-Marín et al., 2021)

Session	Activity	Development of activity
Session 2 & session 3 (two hours)	4. Tool or measurement instrument design & testing activity	Students are asked to suggest different ways of measuring variables. After hearing their proposals, we dedicate two sessions to teaching them about available digital tools, as well as how hardware & block programming work. We start with simple examples that gradually become more complex, making them think of ways to solve processes optimally. They build, test, & calibrate pH sensor with acidic & alkaline substances in their first interaction with electronic devices & substances of varying pH levels (**Figure 4**).
Session 4 (≈one hour)	5. Data collection activity: How can they determine if their hypothesis matches reality?	A visit to Tinto River source involves collecting samples from it & its first two tributaries. In-situ measurements are taken using sensors constructed & programmed by students & verified with pH test strips (**Figure 5**). This activity shows them that river starts with a pH around 3.2, & its first tributary from a mining dump has a pH of 2.4. What pH would river have when mixed with water from its first tributary? Question generated many doubts, & it was observed that one of the most common misconceptions is thinking that product of mixing different pH values follows an arithmetic scale, assuming an average between 2.4 & 3.2. Second tributary has a pH of 5.4. When measuring pH resulting from mixing water with this second tributary, it was observed that pH had hardly changed, remaining below three. Why?
Session 5 (one hour)	6. Graphical interpretation of data activity & need for model construction & design: Students observe outcomes, analyze results, & form new hypotheses	After gathering data, new questions arise that need answers. Collected samples are brought to classroom, & a session is dedicated to designing a model of river's source. Model is discussed & agreed upon as a group, not only regarding its design but also materials to be used for representing terrain & water channels. It helps understand, on a small scale, how pH levels vary (**Figure 6**). Students can experiment by adding water with different pH values. Using a logarithmic scale as reference, obtained data is represented & estimated to understand quantities needed to change concentration of H^+ & why the pH of river hardly changes along its course.
Session 6 (one hour)	7. Synthesis & conclusion activity	Evidence obtained from data can contribute to revising their explanations and/or models. In doing so, they compare their hypotheses with newly obtained data & construct new knowledge in a meaningful way
	8. Reflection & generalization activity: What have they learned & felt? Should a river with such characteristics be conserved? How would it impact us?	A reflection on learning takes place, where emotions related to process are considered crucial for generalization & development of critical thinking. Classroom discussions cover these characteristics, & conservation or restoration of river is proposed. This includes holding a class debate on managing a river, understanding its physicochemical characteristics, & their impact on ecosystem, recognizing it as a natural heritage for its unique landscape, & a scientific one due to studies by NASA & other research groups interested in its peculiarities.
Session 7 (one hour)	9. Dissemination activity	A podcast is created to summarize all that has been done & learned, alongside a presentation using an online software for creating animated & interactive presentations "*genially*" & a website on Google Sites created by groups to explain process & their conclusions.



Figure 4. Students calibrating & testing pH sensor with bleach & vinegar (left) & students learning block programming (right) (Source: Authors' own elaboration)

The sequence consisted of seven sessions (approximately one hour each) during which some sessions were spent in the field collecting samples, and others were used for designing and constructing a scaled model of the river's source with its first two tributaries.

ANALYSIS & RESULTS

The results recorded by the sensors must align with the theoretical approach, allowing the complexity of the studied phenomena to engage students, thus stimulating the search for justification for such results.

Student participation was consistent throughout the activity. Through observation, results analysis, and modeling, they gained an understanding of complex concepts like H3O+ concentration, acidity, basicity, and



Figure 5. Students collecting pH data from first tributary originating from a mining dump (left) & source of Tinto River (right) (Source: Authors' own elaboration)



Figure 6. Physicochemical data of river taken at outlet with a diagram of area (left) & models created in class on schematic of Tinto River source for in-class experimentation with collected samples, showing pH strips, pH sensor, & total dissolved solids sensor (developed in project) (right) (Source: Authors' own elaboration)

pH and pOH scales. This was achieved by mixing waters with varying pH levels collected locally, making the logarithmic pH scale more comprehensible and functional to them. Students noted how minor changes in H3O+ concentration significantly affect pH, illustrating the logarithmic nature of the pH scale. They also worked with other physicochemical characteristics (not developed and explained in this paper, but also considered for the complete physicochemical characterization of the river) using sensors for temperature, turbidity, and conductivity. These relationships between different variables enabled a better characterization of the river and its environment.

SWOT analysis conducted in this study reveals insights into students' perceptions and interests regarding the instructional sequence, with a particular emphasis on the technological aspects used in the sequence. This feedback suggests that the integration of tools such as Micro Bit played a significant role in shaping students' engagement and perceptions of the learning process.

In its preparation, the opinion of the students was also considered through a post-test about the sequence and in the research notebooks, where they shared their evaluations and opinions regarding this project, which helps us in its analysis through a SWOT table (**Table 3**). The students' feedback, which included their views on both the appealing and challenging aspects of the activity, highlighted several key points. The following examples, extracted from their notebooks, reflect their perspectives on what they liked, disliked, and the problems they encountered during the activity they carried out:

> "It was super cool to program because it was very easy" (student 1 [strength]).
>
> "We understood the river's science when we measured it with the tools" (student 5 [strength]).
>
> "Building our own scientific tools was an amazing experience" (student 7 [opportunity]).
>
> "We loved painting and making the river model, and then measuring with the pH meter" (student 8 [opportunity]).
>
> "At first, I did not like it because it was very confusing with everyone working at the same time on a website, but then it went well" (opportunity).
>
> "My tablet always froze, and I had to start over again and again and I did not have enough time to finish" (student 17 [weakness]).
>
> "The internet was always going out and was very slow" (student 14 [weakness]).
>
> "We had to wait for the teacher to come over because the other teachers did not understand anything" (student 20 [threat]).

SWOT table highlights mostly positive aspects, which are closely related to the motivating and engaging way of introducing children to scientific approaches through new technologies. Similarly, it shows that facing something so new can become frustrating for many students. It is considered necessary for the process to be properly guided from the early stages of the sequence as well as in the initial contact with sensors and Micro Bit boards.

Collaborative work has been a weakness because students were not accustomed to working together in a coordinated manner. This aspect has evolved positively when they have seen their projects and models succeed.

The lack of time is a weakness that is related to the complexity of the sequence itself and is considered to be something that can be addressed with the proper collaboration of teachers from different areas in the preparation, design, and joint development of the project.

The threats relate to ensuring good internet connectivity, maintaining the sensors (with the pH sensor being quite fragile and complex to maintain, especially in terms of cleaning after use), and unsatisfactory collaboration between teachers, as they,

Table 3. Summary SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, & threats) table analysis of experience

Variable	Values
Strengths	• No need for complex prior training • An engaging and fun way of learning • A way to learn to program from scratch • Intuitive and easily accessible tools • They create their own measuring tools • They learn science content with a level of abstraction in a meaningful way & developing computer skills
Weaknesses	• Lack of resources in schools • Fear of academic failure • Initially complex due to something entirely new and unfamiliar • Not accustomed to working in groups in multiplatform system • It can become frustrating and stressful at the beginning • Lack of time
Opportunities	• To be able to compare and learn from models to understand reality • It is a positive and motivating experience to promote scientific and technological vocations in students • Understanding the fundamental value of science • Promote collaborative work • Development of artistic/creative skills
Threats	• Need for good connectivity • Adequate maintenance • Limited collaboration among the teaching staff

despite assisting in the classroom, lacked knowledge about block programming or sensor usage.

Micro Bit boards and sensors were embraced with enthusiasm, serving as an additional motivation for the development of the unit, which, in its more traditional version, tends to be laden with passivity and student boredom. Its development and management could respond to the digital literacy needs demanded by today's society. These are carried out in a safe, responsible, and civic manner, covering the five competency areas related to the digital competence model presented in **Table 1**. However, it is also important to emphasize them as a threat because, despite the fact that the devices used do not have a very high price, not all educational centers have the financial and material resources to afford them.

CONCLUSIONS

Learning processes, phenomena, concepts, etc. through experimentation using inquiry and modeling approaches, where students combine theory with empirical data, could potentially constitute moments of rich learning. The joint development of these methods with CT, along with the construction and programming of measurement tools, appears to have been highly motivating, as suggested by the enthusiasm highlighted in students' field notebook comments. Particularly, the use of web applications, as well as the programming and utilization of sensors, were aspects most emphasized by students in their reflections.

Students had the opportunity to compare their initial conceptions of acidity and logarithmic scale variation, realizing that mixing pH values does not correspond to a linear scale. This was part of addressing the alternative conceptions mentioned in the introduction of this work. Through hands-on activities, their understanding was enhanced by constructing and programming digital tools for pH measurement and creating a small-scale Tinto River model. These activities emphasized the complexity of changing H_3O^+ concentration and proposed an engaging way to explore pH and pOH, set against the backdrop of Tinto River's scientific controversy regarding its preservation or restoration.

In terms of digital competence, the students worked on and processed scientific data and content through digital environments, creating their own data collection tools, which they shared and developed collaboratively. Additionally, they programmed the processes of their tools in blocks to address socio-scientific and environmental problems, identifying the need for technological solutions. All these activities would support the acquisition of a certain level of digital competence.

The combined use of three learning methods (inquiry, CT, and modeling) could become more relevant when applied in SSI contexts engaging with controversial topics or areas. This approach appears to stimulate students' engagement through questions they formulate, encouraging reflection and freedom in hypothesis testing. It seems that this method allowed for the assessment of students' argumentative skills and critical thinking and might have helped them understand complex natural phenomena and the role of physicochemical variables.

Implementing this method suggests that students took an active role in their learning, possibly enhancing understanding through reflection and exploration. The use of these resources seems to have facilitated data

acquisition and broadened applicability to pH-related phenomena. Additionally, the selection of Tinto River as a learning context supports the idea that controversial heritages can serve as excellent settings for STEAM projects, demonstrating the educational value of integrating complex real-world issues into the curriculum.

Future analyses of video and audio recordings from this project might provide more insights, potentially helping to determine the depth of students' understanding and identify areas for improvement, thereby shaping future research to enhance teaching and learning sequences.

Author contributions: All authors have sufficiently contributed to the study and agreed with the results and conclusions.

Funding: This study is part of the project "The socio-scientific controversy of Río Tinto as a resource for identity generation in students: To conserve or restore?", approved in the 2022/2023 call for teaching innovation and educational research projects at the University of Huelva. It also contributes to a doctoral thesis within the official interuniversity doctoral program in teaching and learning of experimental sciences, social sciences, mathematics, and physical and sports activity. Linked to R&D projects EPITEC2 "Controversial Heritage for Eco-Social Education" (PID2020-116662GB-100), funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033, and "Specialized Knowledge in Teacher Training for Mathematics, Experimental Sciences, and Social Sciences" (ProyExcel_00297), supported by the Junta de Andalucía, the research is linked to COIDESO (Research Center for Contemporary Thought and Innovation for Social Development) and the DESYM Research Group (Didactics of Experimental Sciences, Social Sciences, and Math's).

Ethical statement: The authors stated that the study was approved by the institutional ethics committee of Universidad de Málaga on date October 30th, 2023 (Approval code: CEUMA: 98-2023-H) Written informed consents were obtained from the legal guardians of the participating children. The authors further stated that confidentiality and anonymity was ensured for all data collected during the study.

Declaration of interest: No conflict of interest is declared by authors.

Data sharing statement: Data supporting the findings and conclusions are available upon request from the corresponding author.

REFERENCES

Aksela, M. K. (2011). Engaging students for meaningful chemistry learning through microcomputer-based laboratory (MBL) inquiry. *Educació Química* [*Chemical Education*], *9*, 30-37.

Arroyo Mora, E., & Cuenca López, J. M. (2021). Patrimonios controversiales y educación ciudadana a través del museo en educación infantil [Controversial heritage and citizen education through the museum in early childhood education]. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* [*Interuniversity Journal of Teacher Training*], *96*(35.3), 109-128. https://doi.org/10.47553/rifop.v96i35.3.91433

Benzer, A. I., & Unal, S. (2021). Models and modelling in science education in Turkey: A literature review. *Journal of Baltic Science Education, 20*(3), 344-359. https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.344

Bocconi, S., Chioccariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., & Engelhardt, K. (2016). *El pensamiento computacional en la enseñanza obligatoria* [*Computational thinking in compulsory education*] *(computhink) by INTEFP Europa–Developing computational thinking in compulsory education–Implications for policy and practice*. https://issuu.com/ite_europa/docs/2017_0206_computhink_jrc_ue_intef

Caamaño, A. (2011). *Física y química: Investigación, innovación y buenas prácticas* [*Physics and chemistry: Research, innovation and good practices*]. Graó.

Campina-López, A., Marín, A. A. L., & Pérez, M. Á. de las H. (2023). Análisis para la implementación conjunta de metodologías para el desarrollo de la investigación y la resolución de problemas en las aulas de ciencias [Analysis for the joint implementation of methodologies for the development of research and problem solving in science classrooms]. *Ápice. Revista de Educación Científica* [*Apex. Science Education Magazine*], *7*(1). https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493

Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C., & Sacristán, J. A. (2020). Enseñando ciencia con ciencia [Teaching science with science]. *FECYT*. https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Cuenca López, J. M. (2014). El papel del patrimonio en los centros educativos: Hacia la socialización patrimonial [The role of heritage in educational centers: Towards heritage socialization]. *Tejuelo: Didáctica de la Lengua y la Literatura* [*Didactics of Language and Literature*], *19*, 76-96.

Dewi, C. A., Pahriah, P., & Purmadi, A. (2021). The urgency of digital literacy for generation Z students in chemistry learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning, 16*(11), 88-103. https://doi.org/10.3991/ijet.v16i11.19871

Hammerman, E. L. (2006). *8 essentials of inquiry-based science, K-8*. Corwin Press.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education, 24*(4), 369-387. https://doi.org/10.1080/09500690110110142

Kala, N., Yaman, F., & Ayas, A. (2013). The effectiveness of predict-observe-explain technique in probing students' understanding about acid-base chemistry: A case for the concepts of pH, pOH, and strength. *International Journal of Science and Mathematics Education, 11*(3), 555-574. https://doi.org/10.1007/s10763-012-9354-z

Lin, J.-W., & Chiu, M.-H. (2007). Exploring the characteristics and diverse sources of students' mental models of acids and bases. *International*

Journal of Science Education, 29(6), 771-803. https://doi.org/10.1080/09500690600855559

LOE. (2020). *BOE-A-2020-17264 ley orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la ley orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de educación* [*BOE-A-2020-17264 organic law 3/2020, of December 29, which modifies organic law 2/2006, of May 3, on education*]. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-17264

López-Banet, L., Perales, F.-J., & Jimenez-Liso, M. R. (2021). STEAM views from a need: The case of the chewing gum and pH sensopill (Miradas STEAM desde la necesidad: El caso de la sensopíldora chicles y pH). *Journal for the Study of Education and Development, 44*(4), 909-941. https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1927505

Lorca Marín, A. A., Sevilla Barceló, G., & Delgado Algarra, E. J. (2021). El efecto invernadero, principio y fin en la formación de profesores de secundaria. Una experiencia con Arduino a través de indagación [The greenhouse effect, beginning and end in the training of secondary school teachers. An experience with Arduino through inquiry]. In *Proceedings of the 29 Didactic Meetings of Experimental Sciences and 5th Doctoral Schools* (pp. 180-188).

Martínez-Chico, M., López-Gay, R., Jiménez-Liso, M. R., & Oller, M. T. (2017). Una propuesta integrada para la formación inicial de maestros: Desde el aprendizaje de ciencias mediante indagación y modelización a la competencia para enseñar ciencias [An integrated proposal for the initial training of teachers: From learning science through inquiry and modeling to the competence to teach science]. *Science Teaching: Journal of Research and Teaching Experiences, 2017*, 115-122.

Morris, H. (2014). Socio-scientific issues and multi-disciplinarity in school science textbooks. *International Journal of Science Education, 36*(7), 1137-1158. https://doi.org/10.1080/09500693.2013.848493

NASA. (2018). *Rio Tinto, Spain–NASA*. https://www.nasa.gov/general/rio-tinto-spain/

Park, N., & Ko, Y. (2012). Computer education's teaching-learning methods using educational programming language based on STEAM education. In J. J. Park, A. Zomaya, S.-S. Yeo, & S. Sahni (Eds.), *Network and parallel computing* (pp. 320-327). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35606-3_38

PNCD. (2023). *Modelo de las competencias digitales de la ciudadanía Española* [*Model of the digital competencies of Spanish citizens*]. https://generaciond.gob.es/plan-nacional

Susilaningsih, E., Nuswowati, M., & Natasukma, M. M. (2020). Profile of misconception in particulate level of acid basic subjects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 830*(4), 042082. https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/4/042082

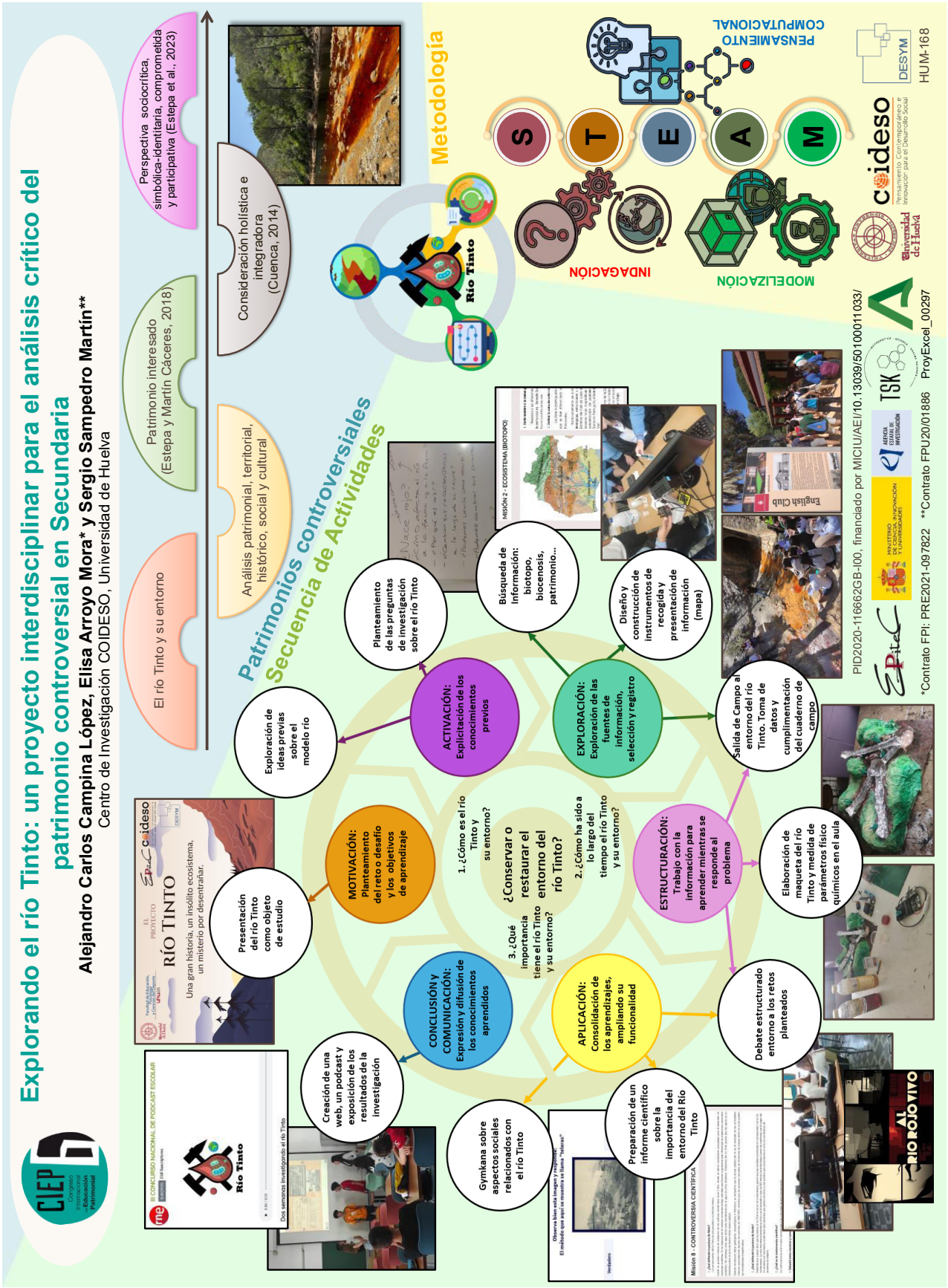
Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in Science Education, 34*(1), 1-20. https://doi.org/10.1023/B:RISE.0000020885.41497.ed

Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2014). *Defining computational thinking for science, technology, engineering, and math* [Poster presentation]. The Annual Meeting of the American Educational Research Association.

4.2.5 Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria.

Tabla 22. Publicación 8.

Elemento	Contenido
Referencia	Campina-López, A. C., Arroyo Mora, E., & Sampedro-Martín, S. (2024). *Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria.* Comunicación presentada en el VI Congreso Internacional de Educación Patrimonial (CIEP6), Ministerio de Cultura, España.
Título	*Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria*
Congreso	VI Congreso Internacional de Educación Patrimonial (CIEP6)
Entidad organizadora	Ministerio de Cultura
Tipo de aportación	Póster académico (obra colectiva)
Editor/Editorial	Ministerio de Cultura (Obra colectiva con cesión parcial de derechos de autor por parte de los firmantes)


Explorando el río Tinto: un proyecto interdisciplinar para el análisis crítico del patrimonio controversial en Secundaria
Alejandro Carlos Campina López, Elisa Arroyo Mora* y Sergio Sampedro Martín**
Centro de Investigación COIDESO, Universidad de Huelva
El río Tinto y su entorno
Análisis patrimonial, territorial, histórico, social y cultural
Patrimonio interesado (Estepa y Martín Cáceres, 2018)
Consideración holística e integradora (Cuenca, 2014)
Perspectiva sociocrítica, simbólica-identitaria, comprometida y participativa (Estepa et al., 2023)
Patrimonios controversiales
Secuencia de Actividades
Metodología
Río Tinto
INDAGACIÓN
MODELIZACIÓN
PENSAMIENTO COMPUTACIONAL
S T E A M
Una gran historia, un insólito ecosistema, un misterio por desentrañar.
Presentación del río Tinto como objeto de estudio
MOTIVACIÓN: Planteamiento del reto o desafío y los objetivos de aprendizaje
Exploración de ideas previas sobre el modelo río
ACTIVACIÓN: Explicitación de los conocimientos previos
Planteamiento de las preguntas de investigación sobre el río Tinto
1. ¿Cómo es el río Tinto y su entorno?
¿Conservar o restaurar el entorno del río Tinto?
2. ¿Cómo ha sido a lo largo del tiempo el río Tinto y su entorno?
3. ¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?
EXPLORACIÓN: Exploración de las fuentes de información, selección y registro
Búsqueda de información: biotopo, biocenosis, patrimonio...
Diseño y construcción de instrumentos de recogida y presentación de información (mapa)
ESTRUCTURACIÓN: Trabajo con la información para aprender mientras se responde al problema
Salida de Campo al entorno del río Tinto. Toma de datos y cumplimentación del cuaderno de campo
Elaboración de maqueta del río Tinto y medida de parámetros físico químicos en el aula
APLICACIÓN: Consolidación de los aprendizajes, ampliando su funcionalidad
Debate estructurado entorno a los retos planteados
Gymkana sobre aspectos sociales relacionados con el río Tinto
Preparación de un informe científico sobre la importancia del entorno del Río Tinto
CONCLUSIÓN y COMUNICACIÓN: Expresión y difusión de los conocimientos aprendidos
Creación de una web, un podcast y exposición de los resultados de la investigación
English Club
Río Rojo Vivo
PID2020-116662GB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/
*Contrato FPI: PRE2021-097822 **Contrato FPU20/01886 ProyExcel_00297
DESYM
HUM-168

4.2.6 Developing computational thinking through understanding the pH concept: A study with Micro Bit in secondary education.

Tabla 23. Publicación 9.

Elemento	Contenido
Referencia	Campina López, A. C., Lorca Marín, A. A., De las Heras Pérez, M. Á., & Bosnjak Stepanović, M. (2024). Developing Computational Thinking Through Understanding the pH Concept: A Study with Micro Bit in Secondary Education. En STEAM+X Approach in Education: Research, Practice and Perspectives (pp. 31–45). Faculty of Education in Sombor, University of Novi Sad. https://doi.org/10.46793/STEAM-X24.031CL
Libro de actas de congreso	STEAM+X Approach in Education: Research, Practice and Perspectives es un libro de actas que recoge las contribuciones del 1st International Scientific Conference STEAM+X, celebrada en 2024. Está publicado por la Facultad de Educación de Sombor (Universidad de Novi Sad) y se centra en enfoques interdisciplinarios en educación STEAM, incluyendo prácticas innovadoras y perspectivas de investigación.
Idioma	Inglés
Editorial	Faculty of Education in Sombor, University of Novi Sad
Lugar de publicación	Sombor, Serbia
Sitio web	https://www.pef.uns.ac.rs
DOI del capítulo	https://doi.org/10.46793/STEAM-X24.031CL
DOI del libro	https://doi.ub.kg.ac.rs/doi/zbornici/10-46793-steam-x24/
ISBN	978-86-80616-43-3
Políticas OA	Disponible en acceso abierto (Open Access)

Developing Computational Thinking Through Understanding the pH Concept: A Study with Micro Bit in Secondary Education

DOI: 10.46793/STEAM-X24.031CL

Original Research Paper

Alejandro Carlos Campina López[1,a,*] | Antonio Alejandro Lorca Marín[2,a] | María Ángeles de las Heras Pérez[3,a] | Marija Bosnjak Stepanović[4,b]

a Department of Integrated Didactics, Faculty of Education and Sports Sciences, University of Huelva, Huelva, Spain
b Faculty of Education in Sombor, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

1 ORCID ID: 0000-0002-6221-347X
2 ORCID ID: 0000-0002-9727-9268
3 ORCID ID: 0000-0002-3640-8337
4 ORCID ID: 0000-0001-9460-4056

* alejandro.campina@ddi.uhu.es
antonio.lorca@ddcc.uhu.es (A.A.L.M.)
angeles.delasheras@ddcc.uhu.es (M.A.H.P.)
96marija.bosnjak@gmail.com (M.B.S.)

Abstract

This work is a qualitative case study that initiates a project to facilitate the understanding of abstract scientific content, such as the concept of pH, through computational thinking and the programming of Micro Bit control boards and sensors. This study was conducted in a secondary school in Valverde del Camino, Huelva (Spain), involving 26 students aged 15 to 16 years. The project focused on the physicochemical characteristics of the Tinto River, a natural heritage environment. To assess knowledge acquisition, an initial test was conducted, and following the project's implementation, a debate was held to further explore the subject matter. The results suggest that students not only gained a deeper understanding of pH and its relevance in real-world contexts but also developed a significant comprehension of its environmental impact, linking scientific learning with social and environmental responsibility and addressing ISTE Standards for students.

Keywords

computational thinking, pH concept, Micro Bit, science education.

Introduction

Currently, one of the main educational challenges is to equip students with essential skills such as Computational Thinking (CT). Various authors recognize this competency as fundamental for any 21st-century citizen to optimally manage situations in various professional fields (González et al., 2018). CT enables young people to think differently, express themselves through a wide variety of media, solve real-world problems, and analyze

Fundings: This study is part of the project "The socio-scientific controversy of Río Tinto as a resource for identity generation in students: To conserve or restore?", approved in the 2022/2023 call for teaching innovation and educational research projects at the University of Huelva. It also contributes to a doctoral thesis within the official interuniversity doctoral program in teaching and learning of experimental sciences, social sciences, mathematics, and physical and sports activity. Linked to R&D projects EPITEC2 "Controversial Heritage for Eco-Social Education" (PID2020- 116662GB-100), funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033, and "Specialized Knowledge in Teacher Training for Mathematics, Experimental Sciences, and Social Sciences" (ProyExcel_00297), supported by the Junta de Andalucía, the research is linked to COIDESO (Research Center for Contemporary Thought and Innovation for Social Development) and the DESYM Research Group (Didactics of Experimental Sciences, Social Sciences, and Math's).

everyday issues from a different perspective (Bocconi et al., 2016), expanding economic and job opportunities and social mobility for students (Dickes et al., 2018).

According to the latest *Global Education Monitoring Report* by (UNESCO, 2024), we are at a point where educational systems need to be better prepared to teach about and through educational technology in science. A significant implication of these arguments is the need to closely integrate computational thinking (CT) activities into science curricula, as modern science increasingly relies on computational tools and methods (Aslan *et al.*, 2024), Additionally, it is crucial to achieve the ISTE, (2018) (International Society for Technology in Education) standards, which aim to help educators prepare students to be effective in an increasingly digital and connected world.

CT is being integrated into educational curricula globally and is part of the official curriculum in several countries. For example, the National Curriculum in England, (2013) emphasizes "equipping students with computational thinking" to use information technology in problem-solving and develop skills for competent and creative use of digital technology. In Spain, according to Real Decreto 217/2022 CT is recognized as a transversal competency in various areas of knowledge, vital for fostering critical thinking and problem-solving in students, thus enhancing their ability to face challenges in diverse contexts and enriching their understanding of science and mathematics. However, González et al. (2018) point out that teachers often lack the necessary training to teach CT, and many do not fully understand what it entails.

Thus, this qualitative research focuses on the implementation of CT in a STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) project with 26 secondary education students in Valverde del Camino (Spain), aiming to facilitate the understanding of abstract scientific concepts such as the pH concept. It is considered that the STEAM approach can help develop students' critical thinking skills while learning chemistry (Ananda *et al.*, 2023) and can make science classes more engaging by encouraging students to express their creativity through visual arts, potentially increasing their motivation to learn science (Conradty & Bogner, 2020).

As an educational tool, students learned to program using a block-based programming approach to manage Micro Bit control boards specifically designed for educational purposes. These boards connect to a pH sensor that allows the collection of data related to the acidity level of a liquid. The use of Micro Bit not only generates interest among students but also helps develop computational skills, problem-solving abilities, creativity, numerical competence, and critical thinking (Kieu *et al.*, 2023).

The development of CT was carried out through a contextualized learning situation in a controversial natural heritage: the Tinto River, a unique river with red waters and a pH below 3 located in the province of Huelva (Spain). Learning situations represent an effective tool to integrate curricular elements from different areas through meaningful and relevant tasks and activities to solve problems creatively and cooperatively, rein-

forcing self-esteem, autonomy, reflection, and responsibility (Real Decreto 157/2022), Meanwhile, heritage is conceived as a necessary element within educational systems for the formation of reflective citizenship, conscious of global responsibility, transformative, critical, and participatory (Trabajo & Cuenca-López, 2022).

The ISTE Standards

In 2018, the ISTE (International Society for Technology in Education) detailed six key standards that students must achieve to be empowered learners in the digital age (Table 1). This project aims to equip students with these qualities and provide them with competencies for the future.

Table 1. ITSE Standards for Students.

Standard	Description
Empowered Learner	Students take an active role in their learning process by setting personal goals, leveraging technology to achieve them, seeking feedback, and demonstrating competency.
Digital Citizen	Students recognize their rights and responsibilities in the digital world, behaving safely, legally, and ethically.
Knowledge Constructor	Students use digital tools to gather, evaluate, and create information, producing meaningful learning experiences and creative artifacts.
Innovative Designer	Students apply design processes to identify and solve problems by creating new, useful, or imaginative solutions using various technologies.
Computational Thinker	Students develop and employ strategies for problem-solving using technological methods such as data analysis and algorithmic thinking.
Creative Communicator	Students communicate clearly and creatively using appropriate digital platforms, tools, and media for various purposes.

Thus, the objectives of this work are defined as follows:

To develop and explain the cycle of computational thinking (Campina-López *et al.*, 2023) implemented and put into practice in this project.

1. To understand in what way the conceptualization of pH has changed, focused on understanding of the acidity of the Tinto River through the comparative study of a pretest and a debate conducted after the project.
2. To determine which ISTE standards for students have been achieved in the project's development as a framework for innovation and excellence in learning.

Theoretical Framework

Computational Thinking

Of purely mathematical origin, CT is a skill for solving complex problems first defined by Wing, (2006) It is based on recognizing aspects of computation in the world around us and applying computational tools and techniques (decomposition, pattern recognition, abstraction, and algorithm creation) to understand and reason about both natural and artificial processes in our ordinary context (Furber, 2012; Campina-López *et al.*, 2023). It is worth noting that, although there is a close relationship between CT and technologies, CT is a skill that can be fully developed without them.

Despite the many relevant skills and techniques that can be related to the context of CT, there are four key techniques for computational thinking (Ortega-Ruipérez, 2020; BBC Bitesize, s. f.): 1. Decomposition: breaking down a complex problem or system into smaller, manageable parts. 2. Pattern recognition: looking for similarities between problems and within them. 3. Abstraction: focusing only on the important information, ignoring irrelevant details. 4. Algorithms: developing a step-by-step solution to the problem to follow to solve the problem.

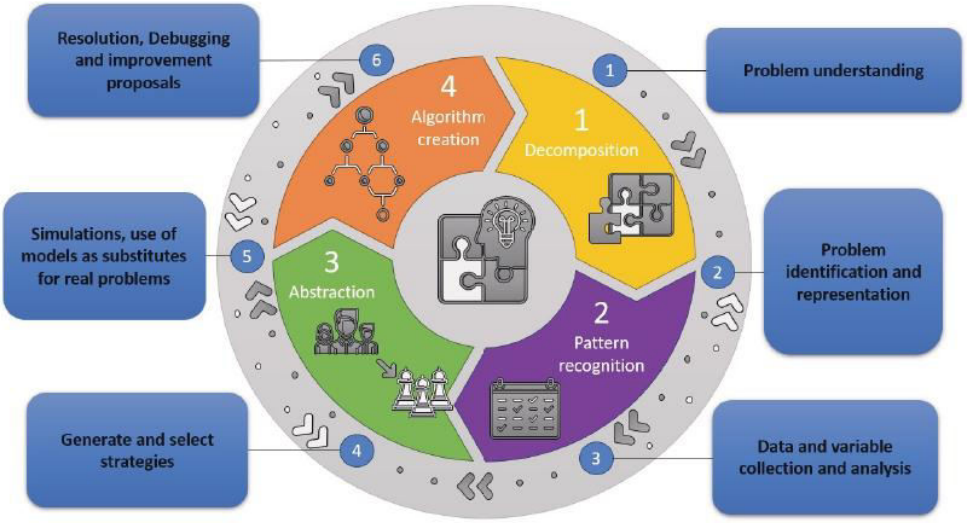


Figure 1. The cycle of computational thinking. In white, the main thinking processes involved, and in blue, the phases of problem-solving applying CT (Campina-López et al., 2023).

In this project, the cycle of computational thinking (Figure 1) proposed by Campina-López *et al.*, (2023) was implemented, following the steps of the main scientific practices (inquiry, modeling, and argumentation) through the proposed cycles for its

implementation (Couso *et al.*, 2020). This model has served as a guide for the application of CT.

Controversial Heritage

Heritage education is configured in formal education as the ideal framework to develop educational experiences that integrate controversial heritage, promoting knowledge and appreciation of the environment and action upon it, and fostering early forms of community and active democratic participation (Arroyo-Mora *et al.*, 2022). Controversial heritage refers to those heritage elements that are didactically selected for generating conflict, controversy, dilemma, or debate, whether ideological, political, economic, social, cultural, or environmental, and whose educational use aims to promote reflection and critical thinking (Sampedro Martín *et al.*, 2022). Thus, through these controversial heritage elements, socio-environmental problems can be addressed in the classroom, demonstrating the potential for social transformation that heritage brings to the communities with which it is linked (Estepa, 2024). An interesting activity to explore the different forms of student reflection and argumentation around controversial heritage is debates, as they promote the development of skills related to language, as well as critical and analytical thinking, as stated by Kerr and Huddleston, (2015) they promote the development of skills related to language, as well as critical and analytical thinking.

The selection of the Tinto River is far from random. It is a river with atypical red waters that is part of the local natural heritage, and its controversy lies in the fact that it is anthropogenically contaminated due to intensive mining that has been ongoing since the 19th century (Olías & Nieto, 2014). Its main physicochemical characteristic, besides its color, is its high acidity.

The conceptualization of pH

The concept of pH is fundamental in science to understand numerous chemical reactions and biological and industrial processes. However, several research studies have reported certain relevant alternative conceptions about this concept: students often have considerable difficulties with acid-base chemistry, and there are cases where they are unable to accurately describe acid-base concepts such as pH, neutralization, strength, and theoretical descriptions of acids and bases (Sheppard, 2006). Lin and Chiu (2007), highlighted that many secondary students believed that pH was a measure of acidity, while pOH was a measure of basicity. According to López-Banet *et al.*, (2021) when converting pH, which is a logarithmic scale, to a decimal expression, students tend to think it is a linear scale and that the addition of distilled water to an acidic solution should have produced a linear increase in the pH value.

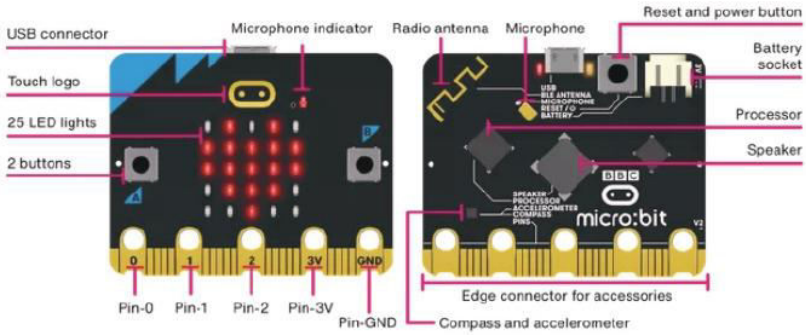


Figure 2. Diagram of the Micro:bit boards. Image taken from www.microbit.org.

Micro Bit are small-sized computer boards (Figure 2) originally developed by the BBC for computing education in the United Kingdom. They are designed to make technology accessible and easy to use for students. They facilitate the teaching of computational thinking through practical programming and electronics activities (*What Is the Micro:bit*, s. f.).

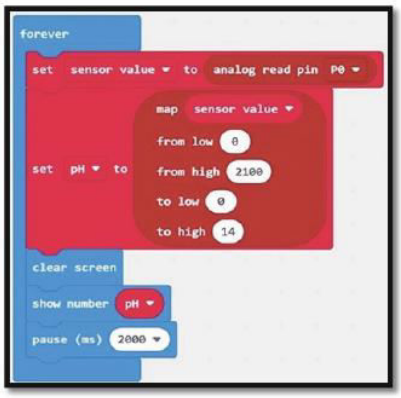


Figure 3. Block code sequence for programming the pH sensor on makecode.microbit.org. Own work.

Block-based programming in MakeCode is an open-source platform by Microsoft that allows creating programs through a visual block-based approach. This method simplifies coding, making it intuitive and accessible, especially for beginners and young students, by allowing them to drag and drop blocks that represent code commands (Figure 3), which facilitates carrying out interactive and educational projects.

A pH sensor for Micro Bit is a device that integrates with the Micro Bit boards to help students explore concepts of acidity and alkalinity through practical experiments (Figure 4).

The sensor measures the pH of a substance and transmits the information to the Micro Bit board, where it can be processed, visualized, and analyzed. Using the MakeCode

programming platform, students can program the Micro Bit to read and respond to the pH data, displaying different values or activating alerts according to the detected level of acidity or alkalinity.

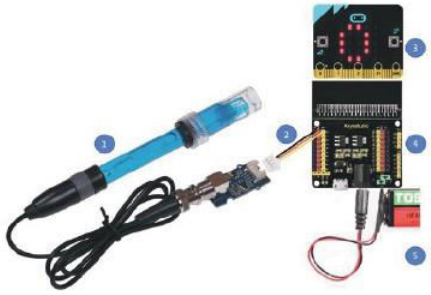


Figure 4. pH sensor connected to the Micro board. Own work.

Method

Study Design

This study was conducted using a qualitative approach, specifically a case study. To explore how computational thinking could facilitate the understanding of the pH concept among secondary education students, a pretest and a final debate were used as analysis instruments, developing categories for their analysis. Finally, the students' activities and productions were correlated with the ISTE standards.

Study Context

The research was carried out in a secondary school in Valverde del Camino, Huelva, Spain, with the participation of 26 students aged 15-16 years.

Pretest

An open-response pretest was administered to assess prior knowledge about the Tinto River in general, selecting student responses related to pH or acidity. This pretest was reviewed by a group of experts, and a Kappa index of 0.87 was obtained, indicating an optimal degree of inter-rater reliability.

Project Implementation

Introduction to Micro Bit Boards

The students received a detailed introduction to the Micro Bit boards, their components, and functionalities. Working in groups of 4 to 5, where each group learned about their

ability to interact with sensors and other devices through their visual programming environment, MakeCode.

The Issue

Firstly, with the river as the context and object of study, the problem of understanding pH was posed: what it is, how it is measured, and whether technology can be used for this purpose. This raises the possibility that students not only learn to use tools for its analysis but also learn to build them themselves.

Application of Computational Thinking

Following the model of the computational thinking cycle (Figure 1), the different phases were applied in the project, altering their order:

1. Decomposition (Problem Understanding / Problem Identification and Representation):

To address the complexities of understanding and measuring the pH of the Tinto River, the students broke down the problem into manageable tasks:

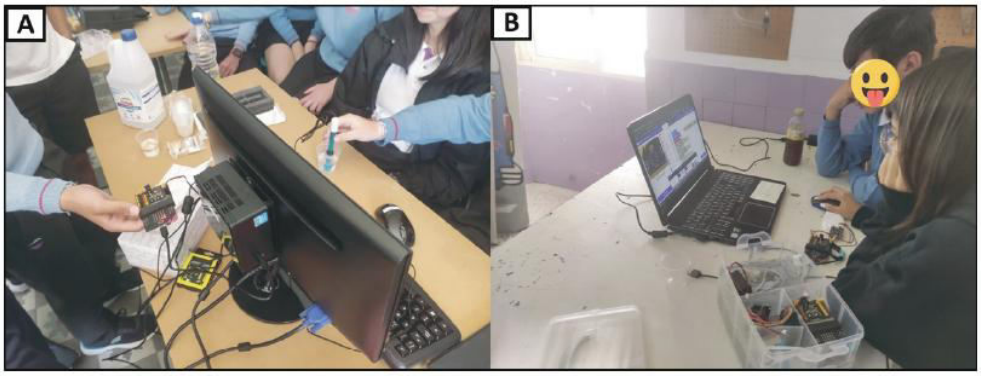


Figure 5. A. Students calibrating the pH sensor using Micro Bit. B. Students learning to program using block-based coding.

- Theoretical Investigation: Students investigated what pH is, its scale, how it is measured, and its importance in different contexts.
- Connecting and Calibrating the pH Sensor: Students learned to connect the pH sensor to the Micro Bit and calibrate it (Figure 5, A), learning what it is and how it works, using substances of known pH such as bleach, vinegar, distilled water, or lemon juice.
- Programming and Executing Measurements: They performed basic programming in MakeCode and executed pH measurements of the Tinto River and its tributaries.

2. Abstraction (Generate and Select Strategies)

- Students simplified the measurement of pH by converting chemical properties into digital signals that could be interpreted and visualized using the Micro Bit.
- They focused on the relevant data, eliminating irrelevant details, to better understand the acidity of the river.

3. Algorithm Design (Data and Variable Collection and Analysis / Data and Variable Collection and Analysis):

- All necessary blocks and data were provided due to the complexity of the code for the students' level of understanding, and they had to compose the code in a specific order, ensuring it was efficient and optimal (Figure 3).
- Students created sequences of steps in MakeCode programming to automate the capture and processing of pH sensor data, recording the collected information on a collaborative web portal.

4. Pattern Recognition (Simulation, Use of Models as Substitutes for Real Problems).

- During data collection in the Tinto River, students analyzed pH levels at different points and situations (Figure 6, A).
- They observed that when mixing waters of different pH levels, the change in pH was minimal, which led them to understand the logarithmic nature of the pH scale and the relationship between volume and concentration. Similarly, they took samples and created a model of the river's headwaters (Figure 6, B) to construct a model where they could add and emulate the mixing of different volumes of water with varying pH levels and understand the logarithmic nature of the pH scale..



Figure 6. A. Students taking pH samples from the river. B. Students mixing different samples in a model of the river's headwaters to measure pH.

Final Debate

"Conserve the river or restore it?" A structured debate was organized and recorded on video for data collection. The students discussed in an organized manner across different thematic blocks everything studied in the project. Additionally, they were divided into groups: those in favor of restoring the river and those in favor of conserving it. Despite the multitude of areas of knowledge and content, for this work, we focused on highlighting everything they conceptualized about pH. Therefore, for its subsequent study and comparative analysis with the initial pretest, categorization was necessary in relation to five aspects related to pH in the environmental context of the Tinto River (Table 2).

Results

Table 2. General Categorization of Pretest and Debate Results

Category	Questionnaire	Debate
Definition and Basic Concept of pH	Superficial understanding of pH linked to general observations. Example: "The Tinto River is red, and you can't drink the water."	Deeper understanding of pH as a measure of acidity/alkalinity and its importance. Example: "...there is a higher concentration of H+ ions in the river and that also makes it special."
Logarithmic Scale and pH Variability	Scant mention of how human interventions could alter pH.	Critical analysis of possible interventions and their implications. Example: "We would need a huge amount of water to make a real change in pH."
Environmental Impact of pH	There is no mention of any relationship between pH and environmental impact; responses instead focus on color and visible pollution as indicators of water quality.	Detailed discussion on how pH affects the biodiversity of the river. Example: "Changing the pH of the entire river could affect species that have already adapted to these conditions."
Human Interventions and Their Effects on pH	Lack of understanding about how human interventions can change pH.	Recognition of the complexity and costs of altering pH. Example: "We want to say that we want to conserve it because species like Erika Andevalensis and microorganisms living in these waters could disappear."
Connection Between pH, Science, and Environmental Responsibility	No mention of this aspect.	Advanced understanding of the relationship between pH, science, and environmental responsibility. Example: "If we restored the river, we would change the environmental quality of the ecosystem and it would help the water quality for livestock."

Similarly, a correlation between the ISTE standards and the activities carried out in this project is presented (Table 3):

Table 3. Correlation Between Computational Thinking Practice and ISTE Standards.

Phase of Computational Thinking	Description of Activities	Related ISTE Standards
Decomposition (Problem Understanding / Problem Identification and Representation)	Students broke down the problem into manageable tasks: Theoretical investigation of pH. Connecting and calibrating the pH sensor. Programming and executing the measurements.	1, 3, 5
Abstraction (Generate and Select Strategies)	Students simplified pH measurement by converting chemical properties into digital signals and focused on relevant data, eliminating irrelevant details.	1, 4, 5
Algorithm Design (Data and Variable Collection and Analysis)	All necessary blocks and data were provided, and students composed the code in a specific order to automate the capture and processing of pH sensor data. They created collaborative web spaces to collect information.	1, 3, 5, 6
Pattern Recognition (Simulation, Use of Models as Substitutes for Real Problems)	Students analyzed pH levels at different points and situations, observing the logarithmic nature of the pH scale and the relationship between volume and concentration.	3, 4, 5

Discussion

In the initial questionnaire, students demonstrated a superficial understanding of pH, mainly linked to general observations about pollution and watercolor. However, during the subsequent debate, students exhibited a deeper understanding of pH as a measure of acidity or alkalinity and its importance within the Tinto River ecosystem. They also explicitly recognized the logarithmic nature of pH, understanding that mixing waters with different pH levels does not result in simple average values. This reflects significant progress in their mathematical and chemical understanding.

Initially, the questionnaire responses included only basic observations about the river's water quality, with a focus on color and visible pollution as indicators. There was no mention of pH's impact on the environment at this stage. In the debate, there was a detailed discussion on how specific pH levels affect the river's biodiversity, including flora and fauna adapted to acidic conditions. The debate also included a critical analysis of possible human interventions to alter pH and their economic, social, and environmental implications, indicating a mature understanding of the complexities involved in environmental

management. Additionally, it was highlighted how the knowledge and measurement of pH relate to broader issues of environmental responsibility, demonstrating a sophisticated understanding of the interconnections between scientific knowledge and environmental management.

In terms of ISTE standards, students actively worked on several of them: they took an active role in their learning process (Empowered Learner), used digital tools to collect, evaluate, and create meaningful information (Knowledge Constructor), applied design processes to solve problems (Innovative Designer), and employed computational thinking strategies such as decomposition, pattern recognition, abstraction, and algorithm design (Computational Thinker). Collaborative web spaces were used to gather all the information (Creative Communicator). However, standards related to being responsible digital citizens were not directly addressed.

Conclusion

The comparison of the pretest and debate suggests that there has been a considerable improvement in students' understanding of the pH concept thanks to computational thinking. During the debate, the polarization between those who supported the restoration of the river and those who defended its conservation led to an in-depth discussion that helped achieve educational objectives. Additionally, several ISTE standards were related, specifically in the areas of Empowered Learner, Knowledge Constructor, Innovative Designer, and Computational Thinker, thus helping to achieve digital literacy goals.

Practical activities and the use of technologies like Micro Bit worked well to engage students and improve their scientific understanding. However, the project did not directly address aspects of being a Digital Citizen. To improve future projects, it would be beneficial to integrate activities that promote greater digital responsibility with the information they create and handle.

This project also highlights the feasibility of using technology and socio-environmental issues related to controversial heritage as a vehicle for understanding abstract content in science. The integration of technological tools and computational thinking not only made learning more interactive and engaging but also allowed students to visualize and understand complex scientific concepts in a practical, deep, and meaningful way.

References

Ananda, L. R., Rahmawati, 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., & Cuenca-López, J. M. (2022). Controversial Heritage, Ecosocial Education and Citizenship. Connections for the Development of Heritage Education in Formal Education. In 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

Aslan, U., Horn, M., & Wilensky, U. (2024). Why are some students "not into" computational thinking activities embedded within high school science units? Key takeaways from a microethnographic discourse analysis study. *Science Education. pp. 1-28.* https://doi.org/10.1002/sce.21850

BBC Bitesize. (s. f.). *What is computational thinking? - Introduction to computational thinking - KS3 Computer Science Revision. BBC Bitesize. Retrieved May 30, 2024, from* https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zp92mp3/revision/1

Bocconi, S., Chioccariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., & Engelhardt, K. (2016). *El Pensamiento Computacional en la Enseñanza Obligatoria (Computhink) by INTEFP Europa—Developing computational thinking in compulsory education—Implications for policy and practice.* https://issuu.com/ite_europa/docs/2017_0206_computhink_jrc_ue_intef

Campina-López, A., Lorca-Marín, A. A. L., & De las Heras Pérez, M. Á. de las H. (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), Article 1. https://doi.org/10.17979/arec.2023.7.1.9493

Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: Effects on students' creativity and motivation. *Smart Learning Environments*, *7*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40561-020-00132-9

Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C., & Sacristán, J. A. (2020, marzo 5). *Enseñando ciencia con ciencia* [Text]. FECYT. https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia

Dickes, A., Metcalf, S., Kamarainen, A., Reilly, J., Brennan, K., Grotzer, T., & Dede, C. (2018). EcoMOD: Integrating Computational Thinking into Ecosystems Science Education via Modeling in Immersive Virtual Worlds (Abstract Only). *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 1076. https://doi.org/10.1145/3159450.3162285

Furber, S. (2012, enero 16). *Furber, S. (2012). Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools. London (UK): The Royal Society.* https://neqmap.bangkok.unesco.org/resource/shut-down-or-restart-the-way-forward-for-computing-in-uk-schools/

Estepa, J. (2024). Educar en memoria histórica y democrática a través de la educación patrimonial: El antipatrimonio. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, *14*, Article 14. https://doi.org/10.17398/2531-0968.14.01

González, J., Minguell, M. E., & Bosch, M. P. (2018). ¿Robots o programación? El concepto de Pensamiento Computacional y los futuros maestros. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, *19*(2), Article 2. https://doi.org/10.14201/eks20181922945

ISTE. (2018). *Standards*. ISTE. https://iste.org/standards

Kerr, D., & Huddleston, T. (2015). *La enseñanza de temas controvertidos—Libreria.educacion.gob.es*. https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/la-ensenanza-de-temas-controvertidos_181285/

Kieu, T. Q., Nguyen, V. B., & Nguyen, A. T. (2023). Micro: Bit in Science Education: A Systematic Review. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA*, *9*(1), 1-14. https://doi.org/10.30870/jppi.v9i1.19491

Lin, J.-W., & Chiu, M.-H. (2007). Exploring the characteristics and diverse sources of students' mental models of acids and bases. *International Journal of Science Education*, *29*(6), 771-803. Scopus. https://doi.org/10.1080/09500690600855559

López-Banet, L., Perales, F.J. & Jimenez-Liso, M. R. (2021). STEAM views from a need: The case of the chewing gum and pH sensopill (*Miradas STEAM desde la necesidad: el caso de la sensopíldora chicles y pH*). *Journal for the Study of Education and Development*, *44*(4), 909-941. https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1927505

National Curriculum in England. (2013). *National curriculum in England: Primary curriculum*. GOV.UK. https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-primary-curriculum

Olías, M., & Nieto, J. M. (2014). Comment on "Identification of the subsurface sulfide bodies responsible for acidity in Río Tinto source water, Spain" by Gómez-Ortiz et al. (Earth Planet. Sci. Lett. 391 (2014) 36–41). *Earth and Planetary Science Letters*, *403*, 456-458. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.049

Ortega-Ruipérez, B. (2020). Pedagogía del Pensamiento Computacional desde la Psicología: Un Pensamiento para Resolver Problemas. *Cuestiones Pedagógicas. Revista de Ciencias de la Educación*, *2*(29), Article 29. https://doi.org/10.12795/CP.2020.i29.v2.10

Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria, Pub. L. No. Real Decreto 157/2022, BOE-A-2022-3296 24386. *Retrieved May 18, 2024, from.* https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/01/157

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, Pub. L. No. Real De-

creto 217/2022, BOE-A-2022-4975 41571 Retrieved June 2, 2024, from. https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217

Sampedro Martín, S., Mora, E., Cuenca-Lopez, J., & Cáceres, M. J. (2022). *Controversial heritage for eco-citizenship education in Social Science didactics* (pp. 68-79). https://doi.org/10.4324/9781003289470-7

Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, *7*(1), 32-45. https://doi.org/10.1039/B5RP90014J

Trabajo, M., & Cuenca-Lopez, J. M. (2022). *Educación Patrimonial Y Sostenibilidad: Un Estudio De Caso En Enseñanza Secundaria Obligatoria. Educação & Sociedade*, *43*, e255220. https://doi.org/10.1590/ES.255220

UNESCO. (2024). *Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2023: Tecnología en la educación: ¿una herramienta en los términos de quién? - UNESCO Biblioteca Digital https://doi.org/10.54676/NEDS2300.* https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388894

What is the micro:bit? (s. f.). *Retrieved May 30, 2024, from.* https://microbit.org/get-started/what-is-the-microbit/

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33-35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

4.2.7 Las emociones académicas y su origen: Un estudio de caso relacionado con un proyecto STEAM contextualizado en el río Tinto como patrimonio controversial.

Tabla 24. Publicación 10

Elemento	Contenido
Referencia	Campina-López, A. C., de las Heras-Pérez, M., & Lorca-Marín, A. A. (2025). Characterization of Emotions Linked to the Study of a STEAM Project Contextualized in a Controversial Heritage. Education Sciences, 15(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/educsci15060725
Título del artículo	*Exploring Academic Emotions in Interdisciplinary STEAM Projects with a Focus on Environmental and Controversial Heritage*
Revista	*Education Sciences* es una revista científica internacional, revisada por pares y de acceso abierto, publicada por MDPI. Está orientada a investigadores, profesionales de la educación y responsables de políticas educativas, con especial atención a la innovación, las prácticas pedagógicas y los estudios interdisciplinarios en el ámbito de la educación. Publica artículos de investigación, revisiones, editoriales y estudios de caso. Tiene una periodicidad mensual.
ISSN	2227-7102
País	Suiza
Sitio web	https://www.mdpi.com/journal/education
DOI general	https://doi.org/10.3390/educsci
Campo académico	Educación; Psicología del Desarrollo y Educativa; Pedagogía interdisciplinar; Educación STEAM
Indizada en	Scopus, ESCI (Clarivate), ERIC, DOAJ, ProQuest, EBSCO, CNKI
Evaluada en	LATINDEX. Catálogo v2.0; Directory of Open Access Journals; FECYT (en proceso); ICDS (MIAR)
Métricas	SJR (2024): 0.730 (Q1 en Educación); H-Index: 68; CiteScore (Scopus 2023): 4.1
Políticas OA	Open Access (Gold); Licencia CC-BY 4.0
Difusión	Presente en 2 bases de datos de citas (c2): ESCI (Clarivate), Scopus (Elsevier) Presente en 3 bases de datos multidisciplinares (m3): ERIC, DOAJ, EBSCO Presente en 1 base de datos especializada (e1): ProQuest Presente en 4 recursos de evaluación (x4): LATINDEX, DOAJ, FECYT (en proceso), ICDS (MIAR)
Difusión total	c2 + m3 + e1 + x4

education sciences

MDPI

Article

Characterization of Emotions Linked to the Study of a STEAM Project Contextualized in a Controversial Heritage

Alejandro Carlos Campina-López *, Mariángeles de las Heras-Pérez and Antonio Alejandro Lorca-Marín

Department of Education, Faculty of Education, Psychology and Sports Sciences, University of Huelva, Campus El Carmen, Avda. Tres de Marzo s/n, 21007 Huelva, Spain; angeles.delasheras@ddcc.uhu.es (M.d.l.H.-P.); antonio.lorca@ddcc.uhu.es (A.A.L.-M.)

* Correspondence: alejandro.campina@ddi.uhu.es

Abstract: This case study analyzes the academic emotions generated in a STEAM educational project developed in the controversial heritage of the Río Tinto and its surroundings. Twenty-five secondary education students participated in a didactic sequence that combined programming and the use of sensors for physicochemical data collection with inquiry- and modeling-based methodologies to address socio-scientific issues. Data were collected through open-ended questionnaires and field notebooks, allowing for an analysis of the emotions expressed at different stages of the project. The results show that epistemic emotions, such as curiosity and surprise, were predominant, highlighting the positive impact of experimental learning in this educational approach. Achievement emotions, such as pride and enjoyment, were linked to overcoming technological challenges, while thematic emotions, such as admiration and disgust, emerged from the heritage context, fostering critical reflection on environmental and historical issues. Negative emotions, such as frustration and anxiety, were also identified, mainly related to the technical difficulties and organizational challenges in group work. It is concluded that the proposed didactic sequence, by integrating the STEAM approach within a heritage context, mobilizes the epistemic emotions that were key in fostering analytical thinking and scientific exploration, while thematic emotions strengthened students' connection with environmental and historical issues.

Keywords: academic emotions; STEAM; controversial heritage; inquiry-based learning; modeling; computational thinking; secondary education; socio-scientific issues; science education; educational technology

check for updates

Academic Editor: Amber Simpson

Received: 24 February 2025
Revised: 26 May 2025
Accepted: 31 May 2025
Published: 10 June 2025

Citation: Campina-López, A. C., de las Heras-Pérez, M., & Lorca-Marín, A. A. (2025). Characterization of Emotions Linked to the Study of a STEAM Project Contextualized in a Controversial Heritage. *Education Sciences*, *15*(6), 725. https://doi.org/10.3390/educsci15060725

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

The role of emotions is crucial in learning development (Lincoln & Kearney, 2019; Mellado et al., 2014; Tyng et al., 2017). In addition to improving mental health and well-being in classrooms, managing emotions enhances attention, sparks curiosity, increases motivation, fosters a positive classroom climate, and strengthens other variables that directly influence learning capacity (Sáenz-López Buñuel, 2020). Thus, education requires emotions, and little can be built among individuals insensitive to them (Santacana & Martínez, 2018). However, despite their importance, the emotional dimension has long been one of the most neglected aspects of educational reforms, which often ignore or minimize this fundamental component of teaching (Hargreaves, 1998). Even today, greater emphasis is placed on students' cognitive learning, often overlooking the impact of their emotions in educational settings (Liang et al., 2021).

Many studies focus on determining the presence of positive and negative emotions, and tools such as the Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) (Gil-Madrona et al., 2019) are commonly used in this context, yet classifying emotions solely based on their valence provides limited information (Pérez-Bueno et al., 2024). According to Pekrun (2006), academic emotions are a key factor influencing learning. Research findings show a strong connection between these emotions and students' learning outcomes and achievements (Davis & Bellocchi, 2018; Li et al., 2020; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014; Postareff et al., 2017; Schutz & Lanehart, 2002; Wang & Hsu, 2023), although their causality has not been widely studied (Tan et al., 2021).

Regarding science education, attitudinal, affective, and emotional aspects are considered decisive, as they can significantly influence students' career aspirations in scientific fields (Lehtamo et al., 2018; Mellado et al., 2014). Inquiry- and modeling-based science education methodologies propose activity sequences structured in phases that foster student engagement with school science (Jiménez-Liso et al., 2022), promoting meaningful learning by triggering epistemic emotions, such as curiosity and surprise (Jiménez-Liso et al., 2021), and facilitating students' intellectual and emotional involvement in problem-solving (Retana-Alvarado et al., 2023).

In recent years, with the rise of STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) approaches in education, understanding and measuring emotions in technology-rich learning environments have been deemed crucial to fostering academic progress in various domains (Lajoie et al., 2020). Recent studies indicate that secondary students experience a significant decline in positive emotions and an increase in negative emotions toward STEAM subjects as they transition from primary to secondary education (Martínez-Borreguero et al., 2019). Therefore, identifying specific emotions and sensations that arise in the classroom allows educators to anticipate them, making students aware of these emotions so they do not become barriers (e.g., insecurity) or go unnoticed (e.g., satisfaction) (Jiménez-Liso et al., 2023).

Furthermore, context plays a crucial role in how emotions are experienced, expressed, perceived, and regulated (Greenaway et al., 2018). In recent years, the scientific literature has increasingly explored the relationship between emotions and heritage education, highlighting how heritage sites and artifacts can evoke strong emotional responses, making them highly motivating didactic resources that enhance the teaching–learning process (Palacios et al., 2023; Santacana & Martínez, 2018). Emotions play a fundamental role in all social phenomena and catalyze and sustain creative scientific work, fueling scientific and intellectual movements that drive scientific change (Parker & Hackett, 2012).

This study was conducted with secondary education (4º ESO) students in the Río Tinto region, a controversial heritage site located in Southwestern Spain, as a unique educational setting to analyze the academic emotions generated during the implementation of an interdisciplinary didactic sequence. This river, known for its red and acidic waters, is not only of great scientific interest but also connects students with their local natural and cultural heritage. Through a STEAM approach that integrates computational thinking as a problem-solving process, as required by the Spanish curriculum (Real Decreto 217/2022, 2022), and inquiry- and modeling-based methodologies recommended for engaging students in school science (Grabau & Ma, 2017), this study explores and classifies the emotions that emerged throughout the implemented didactic sequence.

2. Theoretical Background

2.1. Academic Emotions

An emotion is an affective experience that temporarily alters our mental and physical balance, potentially manifesting with intensity (Santacana & Martínez, 2018). Academic

emotions are those related to either academic activities or outcomes, generated by learners after performing a controlled cognitive and evaluative assessment of learning scenarios (Pekrun, 2000; Pekrun et al., 2002). In other words, academic emotions encompass all emotional experiences that students feel in learning or teaching situations regarding any event, action, or circumstance occurring in an educational context (Pekrun, 2006). Emotional responses require a prior subjective appraisal of the stimulus, which explains why individuals react with different emotions to similar situations (Pérez-Bueno et al., 2024).

Pekrun and Linnenbrink-Garcia (2012) define academic emotions as influential factors in students' engagement and academic performance, developing a classification based on the Control–Value Theory of Emotions (Pekrun, 2006). This theory posits that emotions in learning depend on the perceived level of control and the value attributed to the academic activity, which influences how students experience different emotions in the classroom.

From this perspective, academic emotions are categorized into four groups:

- Achievement emotions: Related to success or failure in academic tasks. For example, joy after receiving a good grade or frustration due to a poor result;
- Epistemic emotions: Associated with the acquisition and processing of knowledge. Examples include curiosity when learning something new or confusion when encountering contradictory information;
- Social emotions: Derived from interactions with others in academic settings, such as embarrassment when speaking in public or pride in a group presentation;
- Thematic emotions: Related to the specific content of a subject, such as interest in a particular topic or rejection toward certain material.

2.2. Emotions and STEAM

STEAM education has a myriad of definitions and various interpretations of the "A" (arts), with ongoing debate regarding its true implementation (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019; Toma & García-Carmona, 2021). In this study, STEAM is understood as an educational methodology that has been increasingly adopted and consolidated in recent years. It promotes an integrative approach that encourages analytical, critical, creative, and scientific thinking through the development of projects or work involving technological elements.

Educational research and neuroscience evidence argue that there is an inherent connection between emotion and learning, which is essential for the STEAM approach (Steele & Ashworth, 2018). The analysis of emotions has significant potential to improve students' experiences, foster personalized learning, and enhance satisfaction in learning environments, particularly in STEAM subjects (Anwar et al., 2023).

In this context, emotions play a key role in shaping attention, motivation, and learning strategies in technology-integrated STEAM environments. Studies such as those by Loderer et al. (2020) on technology-based learning environments (TBLEs) indicate that interaction with digital tools elicits a wide range of academic emotions, including enjoyment, curiosity, anxiety, frustration, confusion, and boredom. While anxiety and frustration can hinder learning if not properly managed, enjoyment and curiosity are associated with higher motivation and performance. Additionally, they are positively linked to perceptions of control and the value of tasks, fostering greater engagement and academic achievement (Astleitner & Leutner, 2014; Pekrun & Perry, 2014). However, the use of technology in classrooms must strike a balance between autonomy and guidance, as excessive freedom or overly rigid structures can lead to negative emotions, such as frustration or boredom (Goetz & Hall, 2014).

2.3. Socio-Scientific Issues Linked to Controversial Heritage as Emotional Precursors

Authors such as Beniermann et al. (2021) and Sadler et al. (2007) highlight the importance of working with contextualized topics through socio-scientific issues (SSI). Scientific concepts emerge from real-world problematic situations where they are applied and acquire meaning (Lupión-Cobos & García-Ruiz, 2024). These problems not only enrich the understanding of scientific content but also serve as an effective tool for developing more critical and engaged citizens. Furthermore, the use of SSI in science education has a significant positive effect on learning content, decision-making skills, and reasoning (Badeo & Duque, 2022), as well as improving students' emotional competence and ethical values, including responsibility, honesty, empathy, and integrity (Gao et al., 2019).

Thus, teaching controversial topics—defined as those that elicit strong emotions and divide public opinion—becomes essential (Huddleston & Kerr, 2016). According to Estepa and Martín-Cáceres (2018), incorporating controversial heritage into educational processes is fundamental. These are heritage elements selected for their ability to provoke dilemmas, debates, or social conflicts (Arroyo-Mora et al., 2022; Sampedro-Martín et al., 2022). By studying local heritage elements from an interdisciplinary perspective, students enhance their observation and inquiry skills, addressing current socio-environmental issues from diverse knowledge perspectives (Trabajo & Cuenca, 2022). These elements act as dynamic sources of knowledge, fostering dialogue and challenging preconceived ideas, positioning heritage as a resource for working with emotions, and contributing to a more just and equitable society (Gómez-Hurtado & Cuenca, 2022).

Emotions play a crucial role in the connection between heritage appreciation and community recognition. Studies indicate that social emotions, related to affection and belonging, significantly influence how communities perceive and legitimize their heritage identity (Gómez Villar & Canessa Vicencio, 2019).

3. Objectives

This study aims to examine the academic emotions elicited by a STEAM-based educational intervention centered on a controversial heritage site, analyzed from different perspectives, including its ecosystem and geology (Campina-López et al., 2025b), its heritage dimension (Campina-López et al., 2025a), and its physicochemical characteristics through sensors (Campina-López et al., 2025c). Accordingly, the following objectives are proposed:

- Objective 1: Analyze the academic emotions expressed by students after engaging in the didactic sequence, identifying the methodological factors that triggered them;
- Objective 2: Examine the academic emotions associated with programming and the use of microcontroller boards and sensors during the learning sequence, identifying their underlying causes;
- Objective 3: Define the academic emotions experienced by students in relation to their work on controversial heritage, as well as determine the factors that led to their emergence.

4. Materials and Methods

4.1. Context and Participants

This qualitative study was conducted in the context of the Río Tinto, a controversial heritage site in Southwestern Spain, involving 25 secondary education students from a public high school in Valverde del Camino (Huelva). The participants, aged 15 to 16, engaged in a STEAM-based educational project that combined classroom activities with a field trip to the Río Tinto and its surroundings. Prior to the intervention, students' families or legal guardians were informed about the study and provided informed consent. The

data were collected and processed anonymously and confidentially, in accordance with the ethical principles of educational research within the institutional framework.

4.2. Research Design

This study follows a qualitative case study design that analyzes, codes, and categorizes students' responses in relation to the emotions expressed and their causes within the framework of a STEAM-based educational intervention contextualized in controversial heritage. It adopts a descriptive and interpretative approach, based on qualitative sources, such as open-ended questionnaires and field notebooks, to understand the emotional dimension of learning in a specific and contextualized experience. The study was part of a broader interdisciplinary project implemented in a secondary school, combining classroom activities with fieldwork and structured around inquiry, modeling, and the use of sensors. While this article focuses on students' emotional responses, the complete educational sequence is described in detail in Campina-López et al. (2025a, 2025b, 2025c).

After defining the study's objectives, a literature review was conducted on academic emotions (Loderer et al., 2020; Mellado et al., 2014; Pekrun et al., 2002; Pérez-Bueno et al., 2024) and their impact in educational contexts, particularly in STEAM learning environments.

According to Pekrun et al. (2002), curiosity is a fundamental epistemic emotion that enhances intrinsic motivation and experimental learning. Meanwhile, admiration is linked to the emotional impact of heritage sites, highlighting their ability to inspire respect and critical reflection (Santacana & Martínez, 2018). Pride, in turn, is classified as an achievement emotion, associated with success in academic tasks and overcoming technological challenges (Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2012). These three emotions broaden the scope of emotional analysis by addressing specific experiences within STEAM and heritage contexts.

4.3. First-Order Instruments

Based on this theoretical framework, two first-order instruments were designed for data collection:

- Questionnaire: Included 13 academic emotions, selected based on the studies of Pekrun and Linnenbrink-Garcia (2014) and Pérez-Bueno et al. (2024), who analyzed the impact of emotions on learning. Most of the emotions in this study, such as anxiety, curiosity, enjoyment, frustration, pride, surprise, and shame, align with these previous works. Additionally, some terminological adjustments were made, replacing rejection with disgust and interest with curiosity. The questionnaire underwent a validation process, obtaining a Fleiss' kappa coefficient of 0.84, which, according to (Gwet, 2021), indicates substantial to almost perfect inter-rater reliability;
- Field Notebooks: During the field trip to the Río Tinto, students documented their emotions related to the activities they engaged in, such as group dynamics, interactions with the environment, and challenges related to technology use.

4.4. Second-Order Instruments

Following the work of Pérez-Bueno et al. (2024), Figure 1, which presents the hierarchical organization of the academic approaches, was used as a reference to categorize the emotions expressed by students along with their causes. To complement this analysis, Table 1 was developed based on the classification of academic emotions proposed by Pekrun and Linnenbrink-Garcia (2012). This table provides a detailed definition that enhances understanding and integrates with the information in Figure 1. These tools were essential in guiding the analysis, as they allowed for the classification of emotions into four main categories: achievement, epistemic, thematic, and social emotions. This

categorization facilitated the interpretation of students' affective experiences, providing a structured framework to analyze the emotional impact of the educational intervention.

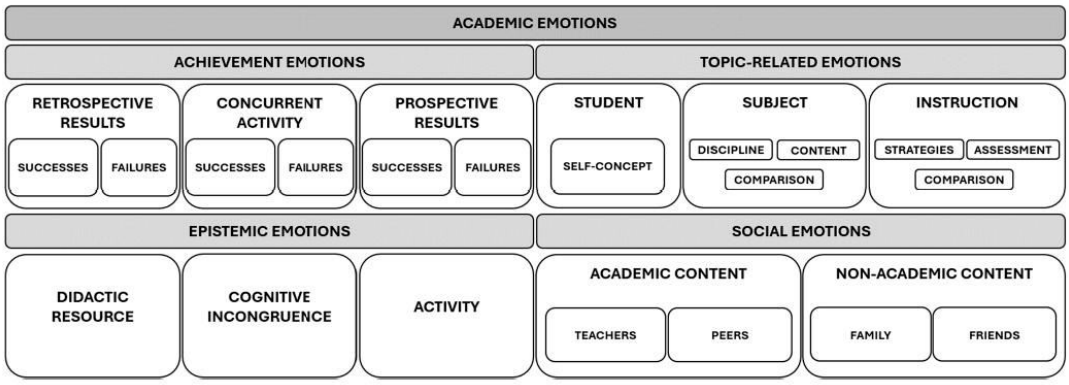


Figure 1. Hierarchical organization of academic approaches for grouping experienced emotions (Adapted from Pérez-Bueno et al., 2024).

Table 1. Categorization of academic emotions according to Pekrun and Linnenbrink-Garcia (2012).

Type of Emotion	Definition	Commonly Associated Emotions	Examples
Achievement Emotions	Related to activities and results evaluated according to competency standards.	Pride, hope, anxiety, frustration, and relief	Pride after passing an exam, hope before an evaluation, anxiety from fear of not meeting expectations, despair from believing that effort will not be enough.
Epistemic Emotions	Arise from cognitive aspects of the task or information processing, such as cognitive incongruity.	Curiosity, surprise, anxiety, enjoyment, and frustration	Surprise at discovering unexpected information, curiosity when exploring a new topic, frustration at unsolved problems, enjoyment when finding a solution.
Thematic Emotions	Provoked by the content of the study material, including emotional reactions to the topics covered.	Shame, pride, admiration, envy, and empathy	Empathy when learning about social struggles, frustration over controversial political decisions, awe at scientific breakthroughs, or significant historical events.
Social Emotions	Related to the social context of learning, including interactions with classmates and teachers.	Interest, rejection, frustration	Interest when comparing oneself to others or emotionally supporting a classmate, frustration over perceived unfair attitudes in group work.

Own elaboration.

The emotions were coded based on the specific activity in which they emerged and their relationship with learning, using a deductive coding approach. This process relied on the open-ended responses provided by students in both the questionnaires and the field notebooks, which were interpreted in light of the academic emotions framework. For example, as shown in Table 1, curiosity was mostly classified as an epistemic emotion, as it was often linked to the discovery of patterns in the collected data. Pride was mostly coded as an achievement emotion, due to the satisfaction expressed after successfully completing a task. Surprise was typically identified as a thematic emotion, as it was related to the study content. Sympathy was generally categorized as a social emotion, given its frequent connection with peer interactions. The frequency of each academic emotion category was

then calculated to identify the general patterns in the students' affective responses across the different phases of the educational sequence.

To conduct the qualitative analysis, MAXQDA software was used, following these stages:

- Initial coding: The responses collected from the questionnaire and field notebooks were classified into the four categories of academic emotions using the previously mentioned second-order instruments;
- Data triangulation: Categorizations were unified, and the emotions recorded in the questionnaires and field notebooks were compared to identify consistent emotional patterns and detect possible discrepancies;
- Pattern and relationship analysis: Patterns in the expressed emotions were identified, along with their relationship to specific project activities, such as sensor programming, group dynamics, and interaction with controversial heritage.

The coding process was carried out in two rounds, with an interval of two months between them, to ensure rigor and consistency.

5. Results and Discussion

The results are organized according to the study's objectives, aiming to better understand the emotions experienced by students. Their reactions to the didactic sequence, the use of technological devices, and the interaction with the controversial heritage were explored.

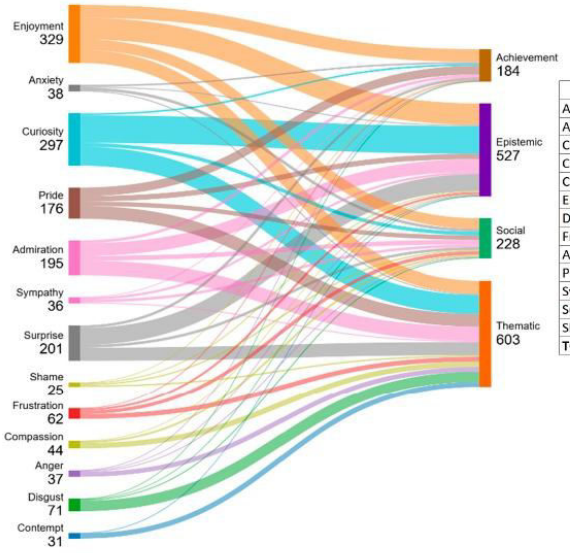
5.1. Characterization of Emotions Expressed in Relation to the Didactic Sequence

The implementation of the STEAM-based didactic sequence, contextualized in a controversial heritage setting, generated a wide variety of emotions among the students. As shown in Figure 2, epistemic and thematic emotions predominated, together accounting for over 70% of the total mentions (527 and 603, respectively). Although less frequent, achievement (184 mentions) and social emotions (228 mentions) also played a significant role, highlighting the collaborative work and the impact of the sequence on student motivation. In line with the findings of Pérez-Bueno et al. (2024), the results indicate that emotions such as interest (curiosity) and frustration (disgust) are generally thematic, while satisfaction (enjoyment) is typically categorized as an achievement emotion. In this study, compassion, sympathy, and shame were classified as social academic emotions, whereas enthusiasm was mainly identified as an epistemic emotion. The following section analyzes the main trends observed in each category, as well as the factors that led to these emotions:

- Achievement emotions (184 mentions, 12%) were less frequent but stood out in activities related to overcoming technical challenges. Emotions such as pride (49) and enjoyment (73) reflected students' satisfaction in achieving significant milestones, such as programming sensors or creating final products like models. The results obtained show that achievement emotions, such as pride and enjoyment, not only reflect the overcoming of technical challenges but also enhance motivation, self-efficacy, and the acceptance of educational technologies (Stephan et al., 2019; Wang et al., 2024). These activities seemed to foster a sense of personal accomplishment and self-confidence, as illustrated by comments like "*It was gratifying to see how our model perfectly represented what we learned in class*" (student 17);
- Thematic emotions (603 mentions, 39%) revealed a strong connection between students and the project's content. Admiration (81), enjoyment (74), and curiosity (108) were particularly prominent in the activities involving both the natural and cultural heritage of the Tinto River and its surroundings. Statements such as "*It's incredible how this place holds so much history and science at the same time*" (student 4) or "*Seeing that what we learned in class had real applications was exciting*" (student 2) highlight how the STEAM

sequence in this heritage setting effectively engaged students, helping them connect knowledge from different subject areas. It is also worth noting that negative thematic emotions, such as disgust (59) and anger (27), emerged from critical reflections on the environmental impact, historical inequalities, and social injustices related to the site. Comments like "*It disgusts me to think that people allowed this river to become so polluted*" (student 4) or "*It's unfair how the river's resources benefited a few whiles harming many*" (student 11) reflect students' questioning and re-evaluation of past events, considering their consequences on the ecosystem and the local community.

- Epistemic emotions (527 mentions, 34%) were primarily represented by curiosity (157) and surprise (96), mainly triggered by inquiry-based and experimental activities. These findings highlight the importance of practical approaches, as illustrated by comments such as "*The results surprised me; I didn't expect them to be so precise*" (student 5), "*Each piece of data we obtained made me want to learn more*" (student 20) or "*I liked exploring both opposing perspectives*" (student 8). These results align with Pekrun (2006), reinforcing the role of epistemic emotions in fostering analytical and creative thinking;
- Social emotions (228 mentions, 15%) underscored the relevance of group dynamics and collaboration. Positive emotions such as sympathy (15) and compassion (11) were commonly expressed during collaborative activities, such as model construction. Statements like "*Working with my classmates helped me understand the topic better and enjoy it*" (student 11) emphasize the positive impact of teamwork on learning. In line with Santacana and Martínez (2018), these responses suggest that the social context of learning facilitates shared reflection and collective knowledge construction. However, negative social emotions such as anxiety (16) and frustration (20) also emerged, mostly linked to group organization difficulties. Comments like "*In my group, everyone did whatever they wanted whenever they wanted*" (student 22) reveal challenges in coordination, indicating that structuring group activities effectively is crucial to minimizing conflict and optimizing collaboration.



	Social	Achievement	Epistemic	Thematic	TOTAL
Admiration	26	16	72	81	195
Anxiety	16	10	6	6	38
Compassion	11	0	3	30	44
Curiosity	21	11	157	108	297
Contempt	0	0	2	29	31
Enjoyment	60	73	122	74	329
Disgust	6	2	4	59	71
Frustration	20	3	12	27	62
Anger	5	1	4	27	37
Pride	25	49	30	72	176
Sympathy	15	2	13	6	36
Surprise	15	15	96	75	201
Shame	8	2	6	9	25
TOTAL	228	184	527	603	1542

Figure 2. Distribution of frequencies of emotions and academic emotions manifested in the didactic sequence. Own elaboration.

These emotional patterns reflect the influence of specific pedagogical strategies. Inquiry and modeling fostered epistemic emotions like curiosity and surprise. Group work elicited social emotions, both positive and negative, depending on coordination. Achievement emotions were linked to goal-oriented tasks, such as programming sensors, while thematic emotions emerged from critical engagement with socio-environmental issues.

5.2. Characterization of Emotions Manifested in Relation to the Programming and Use of Electronic Controller Boards and Data Collection Devices

The programming and use of electronic controller boards and data collection devices within the STEAM project elicited a significant diversity of emotions among the students, as shown in Figure 3. Epistemic emotions accounted for 48.7% of the total, followed by achievement emotions (32.5%), social emotions (14.5%), and, to a lesser extent, thematic emotions (4.3%). These are described below:

- Achievement emotions (38 mentions, 32.5%) primarily included pride (6) and enjoyment (19) and were mainly linked to personal satisfaction in overcoming technical challenges, such as programming sensors and collecting data. Comments like "*I thought I would never know how to program these devices, and I was surprised to see that I actually could*" (student 5) or "*In the end, I managed to get the sensor to collect data correctly, and it was very satisfying*" (student 8) reflect the positive impact of these activities on students' self-confidence. As highlighted by Martínez-Borreguero et al. (2019), success in practical tasks reinforces self-efficacy, strengthening interest in STEAM disciplines.
- Thematic emotions (5 mentions, 4.3%): These emotions were less representative compared to other categories. One example related to admiration included comments such as "*the data reflect a serious environmental problem*" (student 19). The lower prevalence of thematic emotions could be due to the fact that technological activities were more focused on developing practical skills and data analysis rather than on the conceptual content of heritage or natural sciences. This result differs from other studies where inquiry-based and model-based methodologies using technology, such as those by Jiménez-Liso et al. (2021), reported a greater connection between thematic emotions and inquiry activities, possibly due to a more balanced approach between practical skills and conceptual content in their instructional design. Authors such as Martínez-Borreguero et al. (2019) emphasize the need to design activities that integrate practical skills with an explicit focus on conceptual content to foster a stronger emotional connection and more meaningful learning;
- Epistemic emotions (57 mentions, 48.7%) were the most frequent during technological activities, with enjoyment (18), curiosity (17), admiration (7), and surprise (5) standing out. These emotions mainly emerged from the discovery and analysis of the data obtained through sensors. Comments such as "*I was surprised by the precision of the data*" (student 2) or "*We wanted to keep testing to learn more about how the sensors worked*" (student 8) highlight the positive impact of the experimental activities on students' interest and motivation. The results align with other studies, such as those by Jiménez-Liso et al. (2021), which report that inquiry-based activities, supported by technologies such as modeling or practical tools, promote epistemic emotions by fostering curiosity and enhancing analytical understanding. These results are also consistent with Loderer et al. (2020), who indicate that, in technology-based learning environments, emotions such as curiosity/interest and enjoyment emerge when students perceive they have control over the technological task and consider it valuable. Additionally, these authors suggest that surprise is a key epistemic emotion, but its occurrence depends on the task structure and the level of expectation. According to Loderer et al. (2020), surprise arises when a student encounters unexpected or challenging information, which

can generate curiosity and motivation to continue exploring. However, in our case, surprise had a lower representation (five), possibly because activities focused more on procedural aspects rather than the exploration of novel concepts or unexpected discoveries. This finding is also consistent with previous studies indicating that surprise is more common when learning involves unexpected findings, while in highly structured tasks, its occurrence tends to be lower;

- Social emotions (17 mentions, 14.5%) reflected group interactions during technological activities. Positive emotions such as enjoyment (seven) and sympathy (one) were common in collaborative dynamics, with comments like "*It was fun working in a group to program the sensors*" (student 6). According to Loderer et al. (2020), the social evaluation of the task and the technology used play important roles in generating emotions, as an environment that promotes teamwork and appreciation of group effort can enhance enjoyment and motivation, as recorded in this study. However, negative emotions such as frustration (two) and anxiety (two) were also present, mainly due to coordination problems and technical difficulties, as reflected in comments like "*it was frustrating because we couldn't agree on how to solve the errors*" (student 9). This reinforces the need to better structure group dynamics and provide greater support during technological activities. These results align with those of Jiménez-Liso et al. (2021), who also highlight that group activities in technological environments can foster both collaboration and conflict, depending on the level of teacher guidance and task design.

	Social	Achievement	Epistemic	Thematic	TOTAL
Admiration	1	1	7	1	10
Anxiety	2	3	1	0	6
Compassion	0	0	0	0	0
Curiosity	1	2	17	2	22
Contempt	0	0	0	0	0
Enjoyment	7	19	18	1	45
Disgust	0	1	0	1	2
Frustration	2	1	1	0	4
Anger	0	1	0	0	1
Pride	2	6	6	0	14
Sympathy	1	0	2	0	3
Surprise	1	4	5	0	10
Shame	0	0	0	0	0
TOTAL	17	38	57	5	117

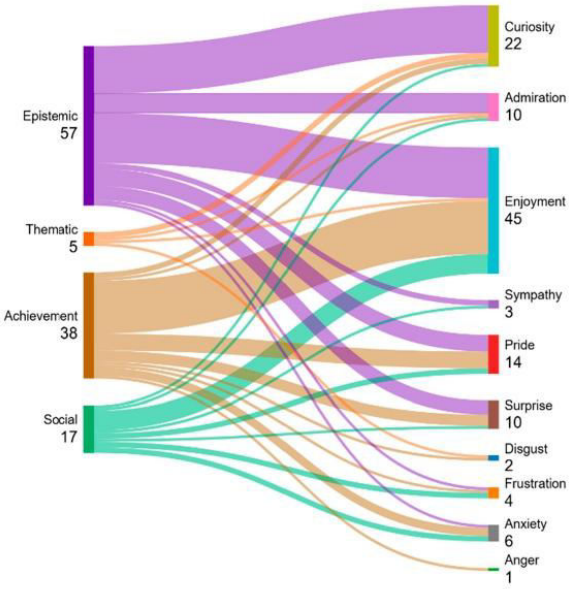
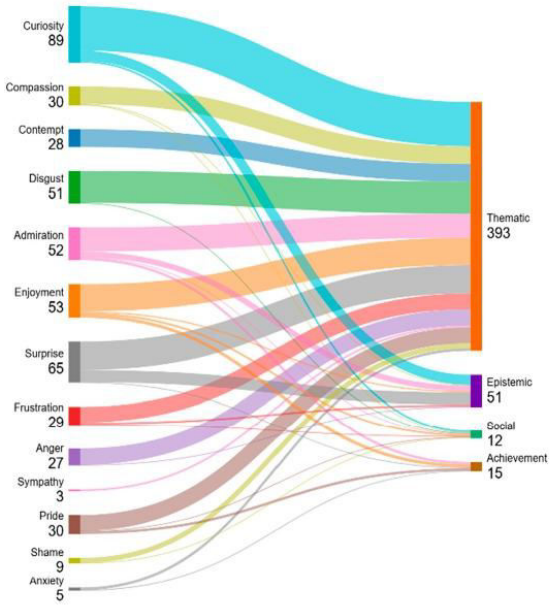


Figure 3. Distribution of frequency of emotions and academic emotions expressed regarding the use of technologies in the sequence.

5.3. Characterization of Academic Emotions Expressed in Relation to the Controversial Heritage

Regarding the emotions associated with the heritage of the Río Tinto and its surroundings, a wide and balanced diversity of emotions was mobilized among students, as observed in Figure 4. After categorization, thematic emotions were predominant (83%), followed by epistemic emotions (11%), while achievement (3%) and social emotions (3%) were less frequent.



	Social	Achievement	Epistemic	Thematic	TOTAL
Admiration	1	4	9	38	52
Anxiety	0	1	0	4	5
Compassion	1	0	1	28	30
Curiosity	3	0	16	70	89
Contempt	0	0	0	28	28
Enjoyment	3	5	2	43	53
Disgust	1	0	0	50	51
Frustration	1	0	3	25	29
Anger	0	0	1	26	27
Pride	1	4	0	25	30
Sympathy	0	0	0	3	3
Surprise	0	1	19	45	65
Shame	1	0	0	8	9
TOTAL	12	15	51	393	471

Figure 4. Distribution of frequencies of emotions and academic emotions expressed in relation to controversial heritage.

- Achievement emotions (15 mentions, 3%) were minimally represented. However, emotions such as pride (four) and enjoyment (five) emerged in activities involving the overcoming of technical and argumentative challenges, such as debates on the cultural significance of heritage. Comments like "*I felt proud of being able to argue my stance on the value of the river in the debate*" (student 19) highlight how these activities fostered personal satisfaction and self-confidence. Nevertheless, the low frequency of these emotions suggests the need to design activities that more effectively enhance these positive experiences.
- Thematic emotions (393 mentions, 83%) were the most predominant in this category, with curiosity (70), enjoyment (43), and admiration (38) standing out. According to the results, these emotions reflect students' interest in exploring the historical, cultural, and environmental impact of the Río Tinto. Comments like "*I found it interesting to see how heritage reflects our history*" (student 5) or "*I discovered how English society significantly influenced our heritage and culture*" (student 3) illustrate how heritage learning fosters cultural appreciation and content engagement. However, negative emotions such as disgust (50) and anger (26) also emerged, mainly from critical reflections on historical inequalities and environmental issues: "*It disgusts me to think how the exploitation of resources near the river was allowed*" (student 9), "*It is not right that in the 21st century, we continue to justify these actions*" (student 19) or "*I felt disgust because it reflects a classist behaviour that should not occur.*" (student 4) These emotions, although negative, highlight the ability of heritage to generate critical analysis, awareness, identity-related sentiments, and, ultimately, to provoke debate, dilemmas, and social conflict, aligning with authors such as Estepa and Martín-Cáceres (2018) and Gómez Villar and Canessa Vicencio (2019);
- Epistemic emotions (51 mentions, 11%) were mainly expressed as surprise (19) and curiosity (16). These emotions were linked to activities such as a scavenger hunt and a field trip, where students showed fascination over the processes and content related to heritage. Comments such as "*I was surprised by how elements of local culture and heritage*

were transformed into an English-style town" (student 7) illustrate this. These epistemic emotions, particularly curiosity and surprise, support the development of analytical thinking and discovery, as previously highlighted by Pekrun (2006);

- Social emotions (12 mentions, 3%) were associated with group interactions. Despite the varied representation, social emotions were generally limited and scarce. Enjoyment (three) was linked to comments such as "*It was interesting to hear my classmates' perspectives on whether to conserve or restore the heritage*" (student 24). These results suggest the need to improve heritage-related activities, as there may have been an unequal level of group participation. Additionally, designing activities that encourage more balanced interaction and collaboration on the content could be beneficial.

6. Conclusions

Following the implementation of the didactic sequence, the importance of considering the emotional dimension in motivating students and helping them connect with the content they engage with is highlighted. This approach allows for identifying strengths and areas for improvement. Integrating active methodologies into STEAM education within a controversial heritage context not only enhances meaningful learning but also stimulates epistemic and thematic emotions that foster curiosity, reflection, and critical thinking. For these experiences to have a positive impact, it is essential to provide students with autonomy and sufficient time for the development and application of technological activities. Additionally, promoting teamwork and ensuring that scientific content is not addressed in isolation, but rather connected to students' emotions and experiences with their peers, could lead to a more engaging learning process.

The use of data collection sensors to analyze the physicochemical characteristics of the river primarily triggered epistemic emotions, such as curiosity and surprise, related to discovery and scientific exploration. These emotions encouraged interest in experimental learning and connection with real data, generating enthusiasm for scientific processes. However, negative emotions like frustration and anxiety also emerged, mainly due to technical difficulties and coordination issues in group work. This underscores the need for more structured technological activities, providing additional time and better instructional support to balance autonomy, guidance, and unfamiliar technological tools. Indeed, time constraints during the implementation of the sequence represented a limitation, reducing students' opportunities to fully engage with and consolidate the technological components of the project. As noted by Stephan et al. (2019), a successful implementation of educational technologies requires not only technical fluency but also emotional support, particularly when students face novel or complex digital tasks.

On the other hand, the Río Tinto heritage stood out for its ability to elicit thematic emotions, such as admiration, enjoyment, and compassion. These emotions reflect how heritage can connect students with history, culture, and socio-environmental issues in their surroundings. Student comments on historical injustice and the river's environmental impact suggest that this context fosters emotions linked to ethical reflection on the studied content. However, social emotions were notably scarce, indicating the need for improved and more collaborative heritage-related activities that encourage dialogue and student interaction.

Group work, whether in technological or heritage-related activities, yielded mixed results. While some students appreciated collaboration and learned from their peers, others experienced frustration due to tensions or a lack of group cohesion. This reinforces the importance of structuring collaborative work effectively, with clearly defined roles and objectives, to optimize the overall learning experience.

Compared to previous studies, such as those by Jiménez-Liso et al. (2021), Loderer et al. (2020), and Wang et al. (2024), the results suggest that active methodologies like inquiry

and modeling, along with the use of technologies in the classroom, can generate significant epistemic emotions when students perceive a high level of control and value in their tasks. Wang et al. (2024) emphasize that combining inquiry-based learning with model-based reasoning in STEAM contexts fosters conceptual change and promotes positive emotional trajectories, such as curiosity, enjoyment, and pride. However, unlike these studies, the technology-related activities in this study showed a weaker connection to conceptual content, limiting the emergence of thematic emotions in some cases. This finding underscores the need to design activities that more effectively integrate practical skills while also eliciting emotions and motivations tied to conceptual understanding, maximizing both emotional and cognitive learning. Future research could further investigate gender-based differences in students' emotional responses, particularly in relation to technological activities, collaborative work, or engagement with controversial heritage. Exploring this dimension would provide a deeper understanding of affective experiences in STEAM education and contribute to the design of more inclusive and equitable learning environments.

Author Contributions: Main conceptualization and original draft writing, A.C.C.-L.; methodological design, A.C.C.-L. with guidance from M.d.l.H.-P.; software and data curation, A.A.L.-M.; formal analysis and interpretation, A.C.C.-L.; supervision and critical review, M.d.l.H.-P. and A.A.L.-M.; project coordination, M.d.l.H.-P.; funding acquisition, M.d.l.H.-P. and A.A.L.-M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This article is part of the project "The socio-scientific controversy of the Río Tinto as a resource for identity development in students: Conserve or restore?", approved in the 2022/2023 call for teaching innovation and educational research projects at the University of Huelva. It is also framed within the official inter-university PhD program in Teaching and Learning of Experimental Sciences, Social Sciences, Mathematics, and Physical and Sports Education. The research is linked to the R&D projects EPITEC2, "Controversial Heritage for Eco-Social Education" [(PID2020-116662GB-100)], funded by the MCIN/AEI/10.13039/501100011033, and "Specialized Knowledge in Teacher Education for Mathematics, Experimental Sciences, and Social Sciences (MTSK-STSK-SCTSK)" [(ProyExcel_00297)], supported by the Regional Government of Andalusia. It is also connected to COIDESO (Research Center for Contemporary Thought and Innovation for Social Development) and the DESYM Research Group (Didactics of Experimental, Social and Mathematical Sciences).

Institutional Review Board Statement: Ethical review and approval were waived for this study due to its observational nature, as it did not involve sensitive data, medical interventions, or risks to the participants.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors on request.

Acknowledgments: We would like to express our sincere gratitude to the teaching staff of the María Auxiliadora Charter School in Valverde del Camino, especially to Juanma Gemio for his unwavering support and dedication, as well as to all the coordinators involved in this project.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

Anwar, A., Rehman, I., Nasralla, M. M., Khattak, S. B. A., & Khilji, N. (2023). Emotions matter: A systematic review and meta-analysis of the detection and classification of students' emotions in stem during online learning. *Education Sciences*, *13*(9), 914. [CrossRef]

Arroyo-Mora, E., Sampedro-Martín, S., Martín-Cáceres, M. J., & Cuenca-López, J. M. (2022). Controversial heritage, ecosocial education and citizenship. connections for the development of heritage education in formal education. In D. Ortega-Sánchez (Ed.), *Controversial issues and social problems for an integrated disciplinary teaching* (pp. 35–52). Springer International Publishing. [CrossRef]

Astleitner, H., & Leutner, D. (2014). Designing instructional technology from an emotional perspective. *Journal of Research on Computing in Education*, *32*(4), 497–510. [CrossRef]

Badeo, J. M., & Duque, D. A. (2022). The effect of Socio-Scientific Issues (SSI) in teaching science: A meta-analysis study. *Journal of Technology and Science Education*, *12*(2), 291. [CrossRef]

Beniermann, A., Mecklenburg, L., & zu Belzen, A. U. (2021). Reasoning on controversial science issues in science education and science communication. *Education Sciences*, *11*(9), 522. [CrossRef]

Campina-López, A. C., Arroyo-Mora, E., & Sampedro-Martín, S. (2025a). ¿Cómo ha sido el río Tinto y su entorno?: Patrimonios controversiales y pensamiento histórico en educación secundaria. In A. A. Lorca-Marín (Ed.), *Huelva: Situaciones De Aprendizaje*. Ediciones Octaedro.

Campina-López, A. C., González Castanedo, Y., & Romero Fernández, R. (2025b). ¿Cómo es el río Tinto y su entorno?: Ecosistema y su geología en educación secundaria. In A. A. Lorca-Marín (Ed.), *Huelva: Situaciones de aprendizaje*. Ediciones Octaedro.

Campina-López, A. C., Lorca-Marín, A. A., & de las Heras Pérez, M. (2025c). ¿Qué importancia tiene el río Tinto y su entorno?: Características fisicoquímicas y programación de sensores en Educación Secundaria. In A. A. Lorca-Marín (Ed.), *Huelva: Situaciones de aprendizaje*. Ediciones Octaedro.

Davis, J. P., & Bellocchi, A. (2018). *Emotions in learning science*. Brill. [CrossRef]

Estepa, J., & 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* (pp. 75–86). ISBN 978-84-17219-85-7. Available online: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6620208 (accessed on 30 May 2025).

Gao, L., Mun, K., & Kim, S. (2019). Using socioscientific issues to enhance students' emotional competence. *Research in Science Education*, *51*, 935–956. [CrossRef]

Gil-Madrona, P., Cejudo, J., Martínez-González, J. M., & López-Sánchez, G. F. (2019). Impact of the body mass index on affective development in physical education. *Sustainability*, *11*(9), 2459. [CrossRef]

Goetz, T., & Hall, N. C. (2014). Academic boredom. In *International handbook of emotions in education* (pp. 311–330). Routledge.

Gómez-Hurtado, I., & Cuenca, J. M. (2022). Heritage education and special education: Working on emotions with differently abled people through heritage. *Heritage & Society*, *16*, 22–51. [CrossRef]

Gómez Villar, J., & Canessa Vicencio, F. (2019). Social emotions, heritage and recognition. The struggle of colina stonemasons in Santiago, Chile. *International Journal of Heritage Studies*, *25*(12), 1263–1278. [CrossRef]

Grabau, L. J., & Ma, X. (2017). Science engagement and science achievement in the context of science instruction: A multilevel analysis of U.S. students and schools. *International Journal of Science Education*, *39*(8), 1045–1068. [CrossRef]

Greenaway, K. H., Kalokerinos, E. K., & Williams, L. A. (2018). Context is Everything (in Emotion Research). *Social and Personality Psychology Compass*, *12*(6), e12393. [CrossRef]

Gwet, K. L. (2021). Large-sample variance of fleiss generalized kappa. *Educational and Psychological Measurement*, *81*(4), 781–790. [CrossRef] [PubMed]

Hargreaves, A. (1998). The emotions of teaching and educational change. In A. Hargreaves, A. Lieberman, M. Fullan, & D. Hopkins (Eds.), *International handbook of educational change: Part one* (pp. 558–575). Springer Netherlands. [CrossRef]

Huddleston, T., & 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. Available online: 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 (accessed on 30 May 2025).

Jiménez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martinez-Chico, M., & Lopez-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. [CrossRef]

Jiménez-Liso, M. R., Chico, M. M., & Lucio-Villegas, R. L.-G. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *20*(3), 3. [CrossRef]

Jiménez-Liso, M. R., Delgado, L., Castillo-Hernández, F. J., & Baños, I. (2021). Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias.* Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, *39*(1), 5–25. [CrossRef]

Lajoie, S. P., Pekrun, R., Azevedo, R., & Leighton, J. P. (2020). Understanding and measuring emotions in technology-rich learning environments. *Learning and Instruction*, *70*, 101272. [CrossRef]

Lehtamo, S., Juuti, K., Inkinen, J., & Lavonen, J. (2018). Connection between academic emotions in situ and retention in the physics track: Applying experience sampling method. *International Journal of STEM Education*, *5*(1), 25. [CrossRef]

Li, L., Gow, A. D. I., & Zhou, J. (2020). The role of positive emotions in education: A neuroscience perspective. *Mind, Brain, and Education*, *14*(3), 220–234. [CrossRef]

Liang, Y.-C., Lin, K. H.-C., & Li, C.-T. (2021). Employing STEAM 6E teaching methods to analyze the academic emotions of the digital video practice course. In Y.-M. Huang, C.-F. Lai, & T. Rocha (Eds.), *Innovative technologies and learning* (pp. 584–592). Springer International Publishing. [CrossRef]

Lincoln, D., & Kearney, M.-L. (2019). The role of emotions in higher education teaching and learning processes. *Studies in Higher Education*, *44*(10), 1707–1708. [CrossRef]

Loderer, K., Pekrun, R., & Lester, J. C. (2020). Beyond cold technology: A systematic review and meta-analysis on emotions in technology-based learning environments. *Learning and Instruction*, *70*, 101162. [CrossRef]

Lupión-Cobos, T., & García-Ruiz, C. (2024). *Indagación científica escolar y educación STEAM: Formación del profesorado y enseñanza para la transferencia a las aulas* (Vol. 81). ISBN/EAN: 9788412872392. Especialistas en educación. Graó. Available online: https://www.grao.com/libros/indagacion-cientifica-escolar-y-educacion-steam-78773 (accessed on 30 May 2025).

Martínez-Borreguero, G., Mateos-Nuñez, M., & Naranjo-Correa, F. L. (2019, July 1–3). *Analysis of the emotions of secondary school students in stem areas* [Edulearn 19 Proceedings]. 11th International Conference on Education and New Learning Technologies (pp. 724–733), Palma de Mallorca, Spain. [CrossRef]

Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., & Cañada, F. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, *32*(3), 3. [CrossRef]

Palacios, L. L., Rite, M. T., & Soto, N. A. R. (2023). Patrimonio y emociones en el alumnado de ESO: Análisis de una experiencia en el museo. *REIDICS*. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales, *12*, 12. [CrossRef]

Parker, J. N., & Hackett, E. J. (2012). Hot spots and hot moments in scientific collaborations and social movements. *American Sociological Review*, *77*(1), 21–44. [CrossRef]

Pekrun, R. (2000). 7—A social-cognitive, control-value theory of achievement emotions. In J. Heckhausen (Ed.), *Advances in psychology* (Vol. 131, pp. 143–163). North-Holland. [CrossRef]

Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, *18*(4), 315–341. [CrossRef]

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, *37*(2), 91–105. [CrossRef]

Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic emotions and student engagement. In S. L. Christenson, A. L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of research on student engagement* (pp. 259–282). Springer US. [CrossRef]

Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (Eds.). (2014). *International handbook of emotions in education*. Routledge. [CrossRef]

Pekrun, R., & Perry, R. P. (2014). Control-value theory of achievement emotions. In *International handbook of emotions in education* (pp. 120–141). Routledge.

Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, *31*, 31–43. [CrossRef]

Pérez-Bueno, B., Pérez, M. Á. d. l. H., & Jiménez-Pérez, R. (2024). Enfoques académicos de las emociones hacia la Física en maestros en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, *42*(2), 2. [CrossRef]

Postareff, L., Mattsson, M., Lindblom-Ylänne, S., & Hailikari, T. (2017). The complex relationship between emotions, approaches to learning, study success and study progress during the transition to university. *Higher Education*, *73*(3), 441–457. [CrossRef]

Real Decreto 217/2022. (2022). *De 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. (s. f.)*. Ministerio de Educación y Formación Profesional. Available online: https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-4975 (accessed on 28 January 2025).

Retana-Alvarado, D., Pérez, M., Vázquez-Bernal, B., & Perez, R. (2023). El cambio en las emociones de futuros maestros en la interacción con una enseñanza de las ciencias basada en indagación. *Tecné Episteme y Didaxis TED*, *53*, 137–159. [CrossRef]

Sadler, T. D., Barab, S. A., & Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? *Research in Science Education*, *37*(4), 371–391. [CrossRef]

Sampedro-Martín, S., Mora, E., Cuenca-Lopez, J., & Cáceres, M. J. (2022). Controversial heritage for eco-citizenship education in Social Science didactics. In *Re-imagining the teaching of european history* (pp. 68–79). Routledge. [CrossRef]

Santacana, J., & Martínez, T. (2018). El patrimonio cultural y el sistema emocional: Un estado de la cuestión desde la didáctica. *Arbor*, *194*(788), 788. [CrossRef]

Sáenz-López Buñuel, P. (2020). *Educar emocionando*. Universidad de Huelva.

Schutz, P. A., & Lanehart, S. L. (2002). Introduction: Emotions in education. *Educational Psychologist*, *37*(2), 67–68. [CrossRef]

Steele, A., & Ashworth, E. L. (2018). Emotionality and STEAM integrations in teacher education. *Journal of Teaching and Learning*, *11*(2), 2. [CrossRef]

Stephan, M., Markus, S., & Gläser-Zikuda, M. (2019). Students' achievement emotions and online learning in teacher education. *Frontiers in Education*, *4*, 109. [CrossRef]

Tan, W.-L., Samsudin, M. A., Ismail, M. E., Ahmad, N. J., & Abdul Talib, C. (2021). Exploring the effectiveness of STEAM integrated approach via scratch on computational thinking. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *17*(12), em2049. [CrossRef]

Toma, R. B., & 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. [CrossRef]

Trabajo, M., & Cuenca, J. (2022). Educación patrimonial y sostenibilidad: Un estudio de caso en enseñanza secundaria obligatoria. *Educação & Sociedade*, *43*, e255220. [CrossRef]

Tyng, C. M., Amin, H., Saad, M., & Malik, A. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1454. [CrossRef]

Wang, Y., & Hsu, K.-C. (2023). How teaching quality and students' academic emotions influence university students' learning effecitiveness. In *Communications in computer and information science* (Vol. 1830, pp. 328–341). Springer. [CrossRef]

Wang, Y., Wang, Y., Pan, Z., & Ortega-Martín, J. L. (2024). The predicting role of efl students' achievement emotions and technological self-efficacy in their technology acceptance. *The Asia-Pacific Education Researcher*, *33*(4), 771–782. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

4.2.8 Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: Un estudio de caso sobre patrimonios controversiales.

Tabla 253. Publicación 11

Elemento	Contenido
Referencia	Campina López, A. C., Lorca Marín, A. A., & De las Heras Pérez, M. Á. (en prensa). Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: Un estudio de caso sobre patrimonios controversiales. Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, xx(x), xx–xx.
Título del artículo	Argumentación y pensamiento crítico en educación STEAM: Un estudio de caso sobre patrimonios controversiales.
Revista	Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales es una revista académica de acceso abierto editada por la Universitat de València. Tiene como objetivo difundir investigaciones originales relacionadas con la enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales y sociales, fomentando el enfoque interdisciplinar y la innovación didáctica. La revista publica trabajos empíricos, teóricos y revisiones, y está dirigida a investigadores, formadores de docentes y profesionales del ámbito educativo. Publicación semestral y con revisión por pares.
ISSN	Impreso: 0214-4379; Electrónico: 2255-3835
País	España
Sitio web	https://turia.uv.es/index.php/dces
DOI general	https://doi.org/10.7203/DCES
Campo académico	Ciencias Sociales y Humanidades; Educación; Didáctica
Indizada en	Emerging Sources Citation Index (Clarivate), Academic Search Ultimate (EBSCO), Fuente Académica Plus (EBSCO), DIALNET, DOAJ
Evaluada en	LATINDEX. Catálogo v2.0 (2018 -); Sello de calidad FECYT; Directory of Open Access Journals; ERIHPlus (Norwegian Directorate for Higher Education and Skills)
Métricas	Índice Dialnet de Revistas (IDR 2023): 0.53 en el ámbito de Educación, con clasificación C2 y posición P64; H-Index: 17
Políticas OA	Dulcinea (color Azul); Open Policy Finder (OPF)
Difusión	Presente en 1 base de datos de citas (c1): ESCI (Clarivate) Presente en 4 bases de datos multidisciplinares (m4): Academic Search Ultimate, Fuente Académica Plus, DIALNET, DOAJ
Difusión total	c1 + m4 + e0 + x4



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.XX.XXXXX

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: 07-01-2025
Fecha de aceptación: 02-07-2025

Este estudio forma parte del proyecto UHU 2022/2023 "La controversia socio-científica del río Tinto: ¿preservar o restaurar?". Está vinculado al I+D "EPITEC2" (PID2020-116662GB-I00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033, y al I+D "MTSK-STSK-SCTSK" (ProyExcel_00297) de la Junta de Andalucía (2021). Participan COIDESO (Centro de Investigación en Pensamiento Contemporáneo e Innovación para el Desarrollo Social), el Grupo DESYM (HUM-168) y Marismas y Playas (RNH 358).

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

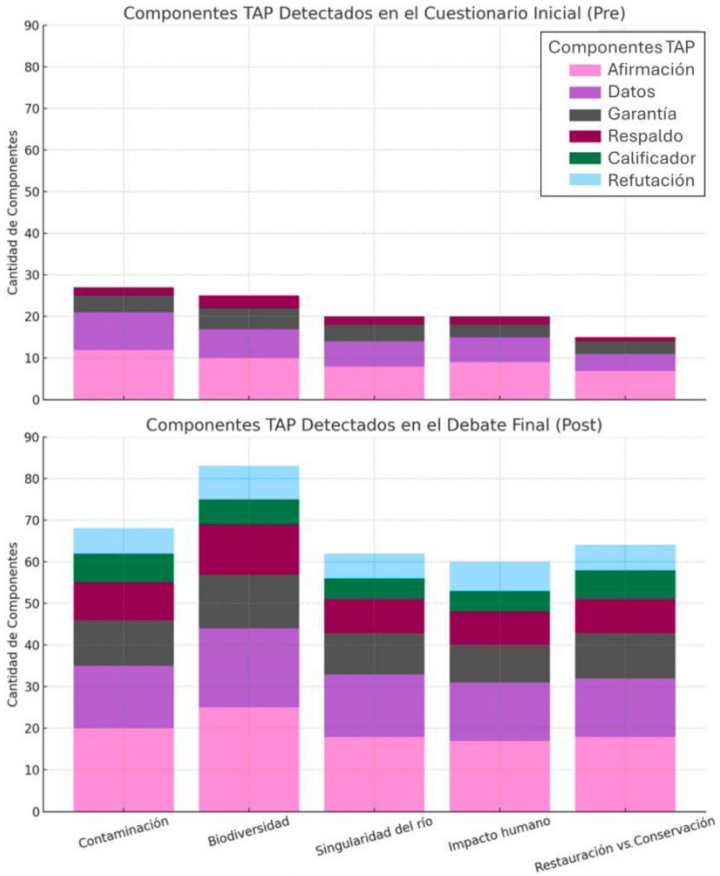
respuestas del alumnado. Finalmente, se discute la relación entre ambos enfoques, destacando cómo las capacidades argumentativas y críticas se complementan en el marco del proyecto interdisciplinar sobre el río Tinto.

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-Ruíz (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 vería 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 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

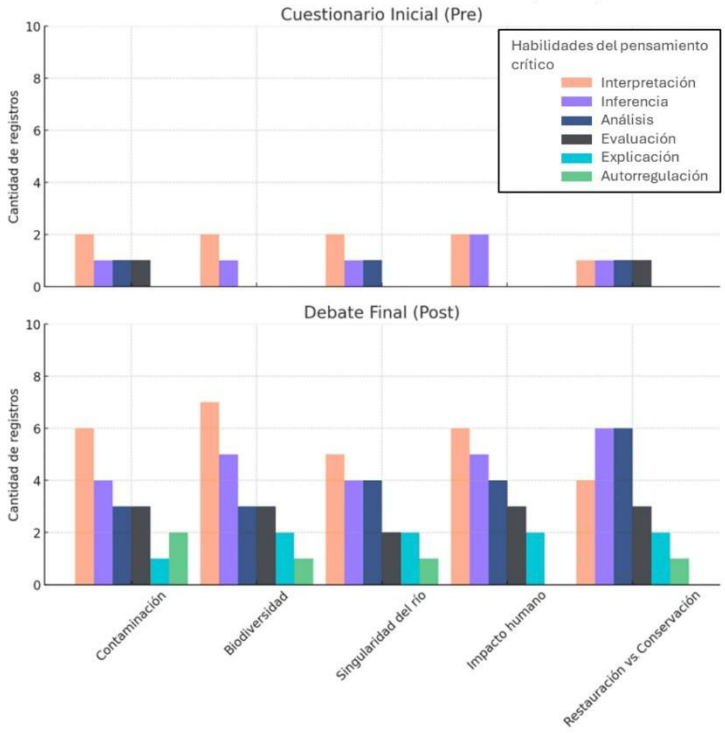
3.2. Aplicación del instrumento Facione-TAP

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 el 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 Sampedro-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 yöntemine dayali laboratuvar etkinliklerinin fen bilgisi öğretmen adaylarinin eleştirel düşünme eğilimi, mantiksal 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

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El último capítulo de esta tesis doctoral tiene como finalidad interpretar e analizar los resultados obtenidos a lo largo del estudio. Para ello, se discuten los principales hallazgos derivados de las publicaciones que componen el compendio, poniéndolos en relación con el marco teórico, la pregunta general de investigación y los objetivos específicos formulados. Más allá de ofrecer una mera recopilación de resultados, este capítulo propone una reflexión crítica sobre los aportes, limitaciones y proyecciones de la propuesta desarrollada.

La discusión se estructura en torno a los siete subproblemas planteados, vinculados a los objetivos específicos (O.E.1 a O.E.7), con el fin de ofrecer una lectura coherente, integrada y fundamentada de las dimensiones abordadas: la articulación metodológica de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional; el aprendizaje de contenidos científico-tecnológicos; el desarrollo del pensamiento computacional mediante el uso de sensores; la construcción del pensamiento crítico a través del enfoque interdisciplinar STEAM; las emociones académicas generadas durante la implementación; y la proyección y transferencia educativa de la experiencia.

5.1 Integración metodológica: indagación, modelización y pensamiento computacional en propuestas interdisciplinarias

Uno de los principales objetivos de esta tesis consistió en investigar cómo se articula el uso conjunto de la indagación, la modelización y el pensamiento computacional (O.E.1), abordando la cuestión de qué elementos teóricos y metodológicos deben considerarse para dicha integración en una situación de aprendizaje (P.1). Esta articulación ha sido analizada desde el plano teórico, a partir de una revisión documental y a través de un análisis bibliométrico de la producción científica reciente. Para dar respuesta a este apartado, se tendrán en cuenta los resultados de las publicaciones 1, 2 y 3 que componen la fase inicial del compendio.

Para ello y, como ya se fundamentó en el marco teórico, la pertinencia de trabajar estos tres enfoques pedagógicos nace de las numerosas investigaciones (Aragón et al., 2014; Bocconi et al., 2016; Chiu y Lin, 2019; Couso, 2014, 2020; Grover y Pea, 2017; Jiménez-Liso, 2020; Jiménez-Liso et al., 2019; Muñoz-Campos et al., 2020; Ogegbo y Ramnarain, 2022; Oliva, 2021; Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012; Sutiani et al., 2021; Vergara y Cofré, 2012; Weintrop et al., 2016; Ying-Yan et al., 2020), organizaciones (DIMACS (*Discrete Mathematics*

and Theoretical Computer Science), s. f.; Directive 2000/60/EC of the European Parliament; European Commission, 2015; ISTE, 2018; ISTE (*International Society for Technology in Education*) y CSTA (*Computer Science Teachers Association*), 2011; NRC (*National Research Council*), 2011, 2012; OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), 2023; The Royal Society, 2012; UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), 2024), así como del propio currículo donde, según la Orden del 30 de mayo (Junta de Andalucía, 2023), se pone de manifiesto la necesidad de llevar a cabo de forma explícita este tipo de estrategias de investigación en las aulas. De esta manera, todo este cuerpo teórico respalda y enmarca la modelización, la indagación y el pensamiento computacional, como vías ampliamente validadas para desarrollar competencias críticas y de alfabetización científica tan necesarias para los problemas a los que se enfrentará nuestra sociedad en el presente siglo XXI. Sin embargo, pese a las demandas de su implementación en la enseñanza, se ha constatado y tenido en cuenta algunas de las problemáticas entorno a su implementación:

En relación con la indagación, su desarrollo en las aulas enfrenta dificultades debido tanto a la falta de habilidades indagatorias del alumnado como a la dificultad del profesorado para generar situaciones basadas en ella (Crawford, 2007), ya que, en la práctica, el enfoque indagativo sigue teniendo más presencia teórica que real en la enseñanza (Couso, 2014). De forma similar, la modelización presenta obstáculos conceptuales, ya que se tiende a enseñar los modelos como contenidos cerrados en lugar de promover la modelización como una práctica abierta de generación de conocimiento científico (Guy-Gaytán et al., 2019; Oliva, 2021; Schwarz et al., 2009). Por su parte, y a pesar del creciente interés por las tecnologías en el ámbito educativo, no existe un consenso claro sobre cómo integrar el pensamiento computacional en el sistema educativo (Bocconi et al., 2016), y el profesorado continúa mostrando una comprensión limitada sobre qué es y cómo aplicarlo (Kale et al., 2018; Yadav et al., 2014). Esta situación se vuelve aún más urgente considerando que actualmente en el currículo andaluz ya se refleja el pensamiento computacional en la *Orden de 30 de mayo de 2023* para la Enseñanza Secundaria Obligatoria, como una competencia específica en Biología y Geología para analizar críticamente respuestas y soluciones a problemas de la vida cotidiana.

En este sentido, para aportar una solución a las necesidades en este ámbito, en la publicación 2 se han propuesto definiciones operativas tanto para el pensamiento computacional como para la indagación y la modelización, como un primer paso necesario

para ayudar a abordar su implementación en el aula y para la consecución del O.E.1.1. de esta tesis. Asimismo, teniendo en cuenta los requerimientos de aportar estrategias pedagógicas claras para integrar el pensamiento computacional en las aulas (Bocconi et al., 2016; Bower et al., 2017; Kale et al., 2018), se aporta en el artículo un ciclo del pensamiento computacional, para ayudar a su implementación, dando respuesta al O.E.1.2. Este ciclo está fundamentado a partir de una amplia revisión de la literatura en la publicación 2 y, además, está diseñado y articulado de forma análoga, siguiendo la misma línea en la que fueron presentados los ciclos de la indagación (Jiménez-Liso, 2020) y de la modelización (Couso, 2020) en aras de facilitar su puesta en marcha en las aulas de ciencias. Además, este ha sido implementado y articulado en la secuencia presentada en las publicaciones 4, 5 y 6, y más específicamente explicado y desarrollado en la publicación 9.

De igual forma, los resultados de la publicación 2 evidencian que la indagación, el pensamiento computacional y la modelización, entendidas como prácticas o estrategias educativas para la resolución y comprensión de problemas, presentan características complementarias que justifican su desarrollo conjunto. En este sentido y, teniendo en cuenta que la implementación combinada de la indagación y la modelización cuenta ya con un amplio respaldo teórico, avalado por la abundante literatura sobre la indagación basada en modelos (MBI) en las aulas de ciencias (Jimenez-Liso et al., 2022; López-Banet et al., 2021; Wang et al., 2015; Windschitl et al., 2008), se defiende que la integración de estos enfoques, junto con el pensamiento computacional, puede fortalecer los procesos de investigación y resolución de problemas en el ámbito educativo donde convergen características comunes como el fomento del trabajo colaborativo con o sin el uso de tecnologías.

En este sentido, se postula que el punto de partida idóneo para trabajarlas de forma conjunta es la indagación, ya que ésta aporta la base metodológica desde la cual el alumnado o el docente formula preguntas, en línea con la Galileo Educational Network, (s.f.), Guilielmo (2024) y Pedaste et al., (2015) quienes defienden que la indagación emana de una pregunta, cuestión o problema que desencadena un proceso en el cual se diseña la investigación, se seleccionan e interpretan evidencias y comunican resultados y, con Garcia-Gonzalez y Furman (2014) y Vergara y Cofré (2012), quienes defienden la formulación de hacer preguntas de investigación como la capacidad primordial y central del pensamiento científico y crítico. Así y, a partir de la formulación de problemas, la indagación inicia y estructura un proceso de investigación donde, tanto la modelización como el pensamiento computacional pueden

entrar en juego para desencadenar procesos paralelos que ayuden a resolver o acercarse a la solución del problema.

En relación con el pensamiento computacional, este permite estructurar, simplificar y resolver problemas complejos mediante la creación de modelos y herramientas, transfiriendo dichas habilidades a contextos reales. Aplicado a los procesos de indagación o modelización, el pensamiento computacional se postula como una forma de operativizar la investigación al margen del uso de la tecnología. Asimismo, mediante el uso, construcción o programación de dispositivos, programas o contenidos digitales, el pensamiento computacional se desarrolla de una forma natural y orgánica a través del procesamiento y depuración de códigos y algoritmos.

Según se ha evidenciado en los resultados de la publicación 2, que pese que hay autores relevantes que lo consideran un proceso de formulación de problemas (Wing, 2010), en esta tesis se argumenta y defiende, respaldándose por un gran número de investigaciones, que el pensamiento computacional es un proceso para la solución y descomposición de problemas, no para generarlos (Ortega-Ruipérez, 2020; Paucar-Curasma et al., 2023), más allá de los que surjan fruto de su proceso reformulativo por reducción o transformación (NRC, 2011), debido a su carácter ingenieril (Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019). Así, el pensamiento computacional se presenta como una estrategia aplicable tanto a la indagación como a la modelización. En la indagación permite descomponer y entender el problema, facilitando y operativizando la investigación, así como su análisis de una forma estructurada para buscar soluciones eficaces. En cuanto a la modelización, el pensamiento computacional puede contribuir a simplificar fenómenos complejos y servir de ayuda a la hora de planificar, diseñar y mejorar modelos de manera más sistemática y eficiente. A través de sus componentes básicos principales como la descomposición, la abstracción, el reconocimiento de patrones y procesos de algoritmitización, así como otros asociados como el diseño, la gestión de recursos y herramientas o la visualización y representación de datos, el pensamiento computacional puede vertebrarse con los procesos de modelización para ayudar a centrarse en los elementos importantes a aprender, facilitando representar su funcionamiento de forma optimizada, comprensible, manipulable y adaptable al contexto educativo o científico en el que se trabaje.

De igual modo, los procesos de modelización tienen lugar a partir de la formulación de un problema o pregunta de investigación (Couso, 2020; Oh y Oh, 2011), para actuar como nexo entre la teoría y el mundo empírico, permitiendo representar y predecir fenómenos

mediante la construcción de modelos que evolucionan a través de pruebas y contrastes. Esta es una característica que se precisa necesaria tanto en las prácticas de indagación como de pensamiento computacional, pues los resultados evidencian que ambos métodos se caracterizan por el uso y diseño de modelos como instrumentos para comprender problemas o procesos.

Los resultados obtenidos a partir de los análisis bibliométricos de la publicación 3 respaldan que la modelización conforma el eje o punto de unión fundamental entre la indagación y pensamiento computacional según las publicaciones analizadas, siendo para la mayoría de ellos su finalidad el diseño de un producto o modelo. Del mismo modo, estos resultados dan a conocer que ya existen proyectos e investigaciones en el campo de la educación en ciencias que trabajan implícitamente la indagación, la modelización y el pensamiento computacional, dando de por sí validez a la pertinencia de que se trabajen de forma combinada. Se evidencia también que la mayoría de los trabajos enmarcados en la didáctica de las ciencias son proyectos MBI que poseen temáticas motoras desarrolladas con el diseño de modelos y simulaciones virtuales. Aquí, el pensamiento computacional toma partido principalmente en entornos de programación como *Scratch* o *Makecode.org*, mediante el uso de lenguajes de programación basados en bloques, donde se llevan a cabo procesos de abstracción, descomposición y pensamiento algorítmico propios del pensamiento computacional (Aslan et al., 2024; Bocconi et al., 2016; Ortega-Ruipérez, 2020; Weintrop et al., 2016), erigiéndose en este sentido, como el método más usado y validado en la literatura científica para su desarrollo y enseñanza, y que permite dotar al alumnado de competencia digital dadas la demandas por parte de investigadores (Brande et al., 2016; Carretero et al., 2017; Gretter y Yadav, 2016; Nacaroğlu et al., 2025), de organizaciones (ISTE, 2018; ISTE y CSTA, 2011; UNESCO, 2020, 2024), así como del gobierno español a través del Plan Nacional de Competencias Digitales (PNCD, 2025) y del propio currículo nacional (*Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre*), que supone el dominio de los lenguajes digitales como una de las habilidades esenciales del siglo XXI.

Asimismo, los resultados presentan que la mayoría de los proyectos analizados tienen en común articularse en un contexto que sitúa la investigación y la pertinencia de enmarcarse bajo un enfoque educativo STEAM al converger las ciencias con la programación, diseño y construcción de herramientas digitales y dispositivos tecnológicos. De forma paralela a los resultados del compendio, hay numerosas evidencias en los que identifican y describen elementos del pensamiento computacional que sirven de apoyo a materias del currículum de

diferentes países de asignaturas de secundaria: Matemáticas, Lengua e Informática, Biología y Física (Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2018), dando más aún peso a su idoneidad dentro del enfoque STEAM. Por tanto, delimitados los diferentes enfoques, modelos y recursos para su enseñanza, todo esto daría respuesta al O.E.1.3, y en conjunto, quedaría delimitado el O.E.1., y respondida la P.1.

5.2 Diseño e implementación de la secuencia didáctica e implementación conjunta de la indagación, modelización y pensamiento computacional en un patrimonio controversial

Una vez establecidas las bases teóricas para integrar la indagación, la modelización y el pensamiento computacional en propuestas interdisciplinares (5.1), en este apartado se analizan los resultados derivados del diseño e implementación de la situación de aprendizaje interdisciplinar construida en torno al río Tinto como patrimonio controversial (P.2), atendiendo a los objetivos específicos O.E.2. y O.E.3., así como a sus respectivas metas. En este sentido, la implementación de esta propuesta ha permitido construir y articular una secuenciación didáctica interdisciplinar coherente con los marcos conceptuales desarrollados en esta tesis doctoral, y que se vertebran con los resultados expuestos tanto en las publicaciones 1, 2 y 3 correspondientes a la Fase 1 del compendio, así como con los resultados de las publicaciones 4, 5, 6 y 7. Del mismo modo también se valora empíricamente la contribución de la integración metodológica a la adquisición de contenidos científicos abstractos por parte del alumnado y que hemos subdividido en los siguientes apartados:

5.2.1 Diseño y desarrollo de la secuenciación didáctica en una situación de aprendizaje

Con la finalidad de abordar el O.E.2., para el diseño de la situación de aprendizaje "El río Tinto y su entorno: ¿conservar o restaurar?" en este estudio de caso, las finalidades que se proponen y las particularidades de su implementación que se recogen en los diferentes capítulos de libro, se encuentran estructurados en base a los contenidos y competencias desplegadas en relación con las 3 asignaturas en las que se desarrolló la secuencia (Biología y Geología: publicación 4, Física y Química: publicación 5, y Geografía e Historia: publicación 6). Estas, además de estar sujetas a un cuerpo teórico y metodológico expuesto en esta tesis doctoral, se pusieron también al servicio del conocimiento y posicionamiento del tutor del

aula en la que se implementó el proyecto de investigación, quien colaboró en el diseño e implementación de este proyecto en un aula de 4º de ESO.

La fundamentación teórica que ha nutrido el diseño y construcción de la secuencia de actividades de la situación de aprendizaje parte de muchos ámbitos. En primer lugar, los resultados correspondientes al apartado 5.1. (P.1., O.E.1., O.E.1.2., O.E.1.3) de esta tesis doctoral, plantean como conveniente hacer converger estas metodologías dentro de un enfoque STEAM, además de la necesidad de que el aprendizaje se desarrolle en un contexto determinado ya que es muy útil que la prácticas científicas se desarrollen a partir de un aprendizaje situado (Couso, 2014) y que éste se plantee desde un inicio (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024). De este modo, con la pertinencia de querer suscitar pensamiento crítico (P21, 2009) y teniendo en cuenta las emociones en las aulas de ciencias (Jiménez-Liso et al., 2023; Muñoz-Campos et al., 2020), junto con la oportunidad de poder trabajar de forma contextualizada problemas sociocientíficos relativos al origen de la contaminación del río Tinto en un centro educativo cerca de éste, se consideró trabajar desde la controversia y el debate como estrategias clave en la educación para la ciudadanía (Pagès, 2019). Más específicamente, se trabajó desde el enfoque de los patrimonios controversiales, como elementos clave para generar conflictos o dilemas (ideológicos, sociales, políticos, culturales, económicos y ambientales) (Sampedro-Martín et al., 2022), todos ellos importantes para una ciencia que no debe desligarse de las repercusiones sociales, históricas y tecnológicas del conocimiento científico (De Pro, 2012).

En relación con los problemas sociocientíficos, se tuvo en cuenta para el diseño de la propuesta atender al marco para la enseñanza de los temas controvertidos propuestos por Pace (2021), (figura 22) que recomiendan diferentes aspectos para facilitar su enseñanza como, por ejemplo, la selección de cuestiones auténticas o la importancia de atender a las emociones. Del mismo modo, importantes fueron también en el diseño de esta secuencia las aportaciones de Puig et al., (2023) con las principales nociones a tener en cuenta para trabajar problemas sociocientíficos en aulas de ciencias que recomiendan articular el desarrollo del pensamiento crítico con metodologías de indagación, modelización y argumentación para el desarrollo del pensamiento científico y el pensamiento sistémico, con la finalidad de analizar fenómenos, hacer predicciones y elaborar explicaciones que converjan en una acción crítica por parte del alumnado. Es así como estos marcos de enseñanza-aprendizaje, junto al estudio de patrimonios controversiales como centro de interés para el desarrollo de metodologías indagatorias, se sugieren como respuesta a las demandas anteriormente citadas de Crawford

(2007) tanto para el desarrollo de habilidades de indagación por parte del alumnado, como la necesidad del profesorado de generar situaciones para trabajarlas. De igual forma, la estructuración de esta propuesta se alinea con los elementos para el diseño de propuestas didácticas (figura 9) propuesto por Blanco-López et al. (2018) que constituyen una referencia fundamental donde, para desarrollar competencias científicas, se recomienda conectar las tres prácticas científicas anteriormente citadas para ayudar a la toma de decisiones respecto a problemáticas de la vida diaria.

En segundo lugar, en cuanto al enfoque STEAM, esta propuesta se desarrolla de una forma intencionada y fundamentada desde una interdisciplinariedad real que articulan los contenidos y competencias que aportan las ciencias experimentales (Biología, Geología, Física y Química) y sociales (Geografía e Historia), con la tecnología (creación espacios *web* colaborativos, programación basada en bloques y construcción y uso de sensores), la ingeniería (diseño del sistema de canalización de aguas en la maqueta), las artes (diseño creativo de la maqueta, podcast), y las matemáticas (análisis de datos, escalas logarítmicas y representación gráfica) todas aquellas vertebradas con metodologías de indagación basada en modelos y el pensamiento computacional. De esta manera, se siguen la líneas de acción para la educación STEAM propuestas por (Martín-Cudero et al., 2024) y se responde al planteamiento Ozkan y Umdu-Topsakal (2021) y Toma y García-Carmona (2021), quienes indican que un proyecto STEAM ha de ser realmente integrado y debe trascender las materias aisladas para ofrecer propuestas interdisciplinarias en torno a fenómenos del mundo real.

En tercer lugar, la estructuración de las diferentes actividades de la secuenciación didáctica se vertebran en las seis fases del ciclo de la indagación (Jiménez-Liso, 2020), y que convergen en gran medida con las seis fases del diseño de aprendizaje experiencial a partir de las recomendadas por la Junta de Andalucía: Motivación, Activación, Exploración, Estructuración, Aplicación y Conclusión (López-Lozano et al., 2022). En este sentido, la secuenciación didáctica se ha desarrollado mediante una indagación guiada debido a que ésta mejora la actitud de los estudiantes respecto a la ciencia (Lazonder y Harmsen, 2016) y desarrollada en contextos cercanos al entorno del alumnado como la mejor forma de aprender y comprender qué es la ciencia y cómo se construye, además de ser una forma efectiva de desarrollar pensamiento crítico (Bunterm et al., 2014; Jiménez-Liso, 2020).

En relación con las preguntas como ejes del enfoque indagativo, estas fueron formuladas y diseñadas en la planificación previa a la entrada al centro educativo. La cuestión central por resolver "¿conservar o restaurar?" se responden tras el desarrollo secuencial de

actividades ligadas a tres subpreguntas relacionadas con tres asignaturas comentadas anteriormente y desarrolladas en las publicaciones 4, 5 y 6. Sin embargo, se considera pertinente mencionar que en la fase de activación se tuvo en cuenta dejar que el alumnado planteara sus propias preguntas. Esto se hizo con la intención de que participaran activamente en la decisión sobre los aspectos del río Tinto y su entorno que serían sometidos a investigación, como una estrategia para motivar y hacer protagonista al alumnado de su aprendizaje, al garantizar que el problema específico se desdoble en un conjunto de subproblemas que responda a los conocimientos, intereses y capacidades iniciales del alumnado (Cañal, 2008). Estas preguntas fueron tenidas en cuenta y fueron canalizadas y reconducidas para hacerlas converger con las 3 subpreguntas de investigación que se exponen en las publicaciones 4, 5 y 6.

Por último, la necesidad de desarrollar competencias digitales hizo falta que el diseño de la propuesta didáctica tuviera que ser respaldada teóricamente por modelos que articulen las prácticas científicas con las propias de la ingeniería, y que éstas se desarrollasen en un contexto real. Por ello, por un lado se tuvo en cuenta el modelo de las tres esferas para la articulación de las prácticas científicas y de ingeniería en el aula (figura 10), propuesta por el *National Research Council* (NRC, 2012) donde se propone que procesos de investigación y el desarrollo de explicaciones y soluciones han de evaluarse a través de los análisis críticos y argumentativos que surgen a partir de ellas. Por otro lado, se tomó como referencia la secuencia de prácticas para alumnos K-12 en las aulas de ciencias (figura 3) propuesta también por la NRC (2012), donde el proceso comienza con el planteamiento de preguntas, la utilización de modelos, investigar, analizar datos, usar pensamiento matemático y pensamiento computacional, construir explicaciones y diseñar soluciones, argumentar a partir de evidenciar, y evaluar y comunicar la información.

Por tanto, el diseño que se propone en esta propuesta didáctica hace que se alcance la primera parte el O.E.2., habiendo desarrollado una secuencia de investigación adaptada al nivel de secundaria y necesariamente compleja, significativa y socialmente relevante para los procesos de indagación y modelización se puedan articular a partir de un contexto fenomenológico que le dé sentido (Caamaño, 2011). Esto estaría en concordancia con autores como Deák y Kumar (2024) y Soroko (2020), donde la integración de STEAM y herramientas digitales en la enseñanza de ciencias se considera fundamental para desarrollar pensamiento computacional y competencia digital para preparando a los estudiantes para los desafíos del siglo XXI.

5.2.2 Implementación de la propuesta a través de la indagación, modelización y pensamiento computacional

Una vez configurado el marco general de la secuencia didáctica, su implementación se llevó a cabo durante dos semanas en un aula de 4.º de ESO de un centro educativo de Valverde del Camino donde también se llevó una salida de campo a la cabecera del río Tinto y al pueblo de RioTinto. La implementación de la situación de aprendizaje interdisciplinar "El río Tinto y su entorno: ¿conservar o restaurar?" se llevó a cabo mediante una secuenciación didáctica organizada en seis fases (figura 28), acorde con el modelo de aprendizaje experiencial propuesto por López-Lozano et al., (2022). El desarrollo de la propuesta comenzó con la fase motivación, con la proyección de una vídeo-presentación realizado especialmente para dar a conocer el proyecto al alumnado. Esto permitió en un primer momento conectar y motivar al alumnado en uno de los primeros pasos de ciclo de la indagación (Jiménez-Liso, 2020) con el río Tinto y su entorno.

A continuación, se llevó a cabo una fase de activación para llevar a cabo la exploración de ideas previas, junto con la aplicación de cuestionarios para recoger conocer las ideas alternativas para ser tenidas en cuenta en procesos evaluativos, acorde a las prácticas instruccionales STEAM (tabla 13) (Thibaut et al., 2018). Del mismo modo, esto dio pie a favorecer la formulación de preguntas de investigación genuinas por parte del alumnado (Cañal, 2008), como "¿por qué el agua es roja?" o "¿qué nos pasa si metemos la mano en el río?", tal y como recomiendan trabajos sobre indagación basada en preguntas auténticas (Galileo Educational Network, s.f.; Pedaste et al., 2015), y que darían lugar a conocer los aspectos controversiales que emanan del río como patrimonio natural y científico.

En la fase exploración, desde el inicio, se puso en marcha un cuaderno de investigación digital a través de la creación de blogs colaborativos para facilitar la organización de las producciones del alumnado, como métodos para el desarrollo de la creatividad y de competencias digitales (Brande et al., 2016) en correspondencia con el nivel 10 de creación de contenidos digitales (tabla 9) (PNCD, 2025) y siguiendo, además, las orientaciones propuestas por Gretter y Yadav (2016) y por la UNESCO (2024) sobre la necesidad de incorporar tecnologías colaborativas en el aprendizaje.

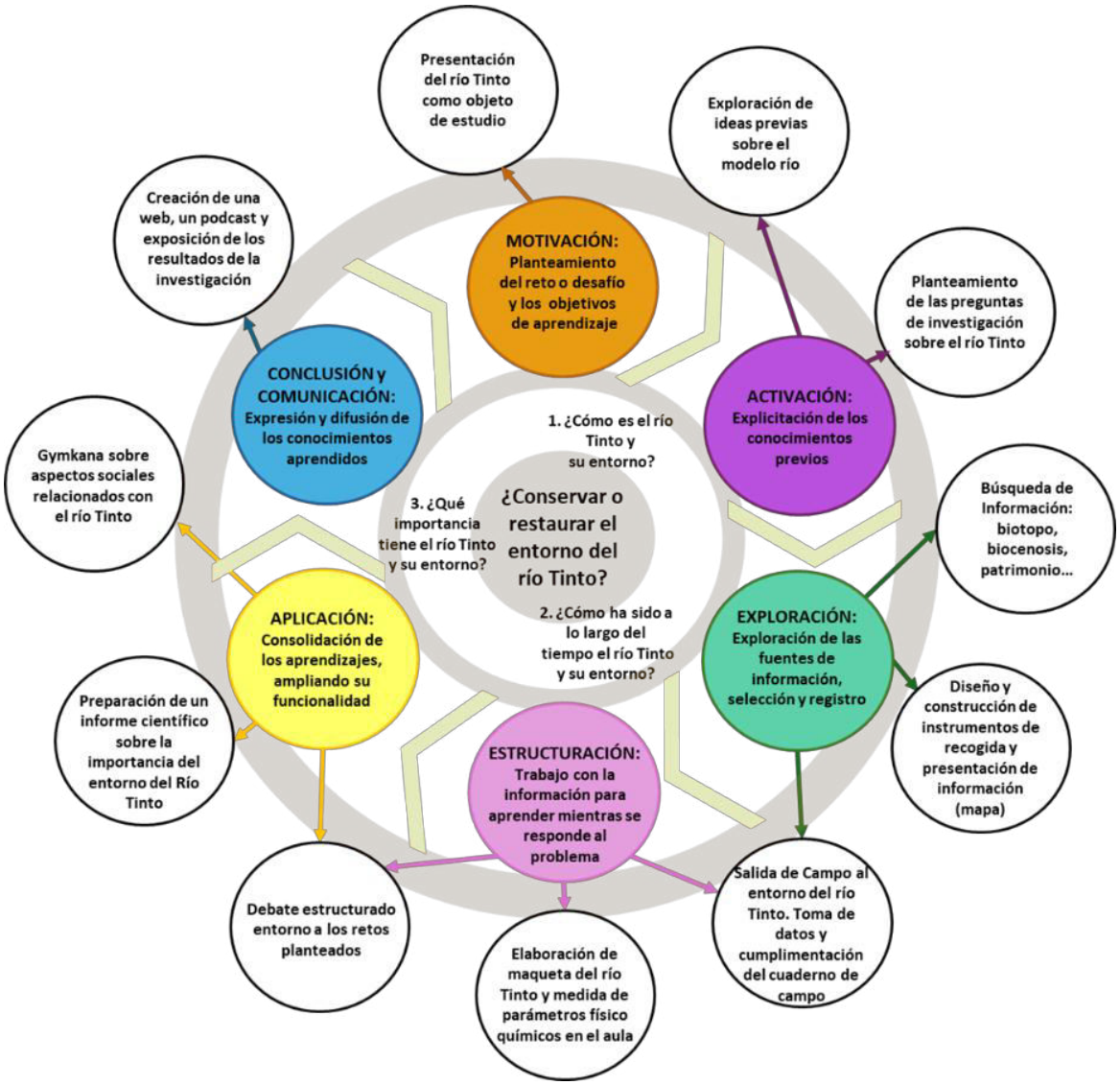


Figura 28. Secuenciación didáctica del proyecto "El río Tinto y su entorno: ¿conservar o restaurar?". Elaboración propia

En la fase de exploración, además, se usaron herramientas como *Google Maps* para hacer capturas de pantalla de fotos aéreas y así estudiar los cambios del río Tinto a lo largo de su cauce, para estudiar cambios en la morfología de su caudal, así como aspectos acerca del biotopo, biocenosis y la caracterización de su tipo de ecosistema. En este sentido, autores como Koundouri et al., (2017) defienden que el funcionamiento de los ecosistemas fluviales ofrece numerosos beneficios al ser humano y poseen un valor cultural como herramienta educativa. A partir de los resultados del compendio, se hace hincapié en la pertinencia del río y su entorno como centro de interés, pues las actividades humanas como la industrialización, los cambios en el uso del suelo, la urbanización, la extracción de recursos hídricos y la alteración de los cauces fluviales generan impactos directos sobre el hábitat, la geomorfología, la composición química del agua y las comunidades biológicas de los ríos

(Allan et al., 2021), situándolos entre los ecosistemas más amenazados a nivel global y haciendo urgente su conservación, restauración o gestión sostenible (Díez López et al., 2024), poniéndose en línea con la cuestión principal a resolver por el alumnado. Además de lo desarrollado en las publicaciones 4, 5 y 6, los resultados de la publicación 11 defienden cómo a través del río abarcan contenidos y competencias de las diferentes asignaturas trabajadas del currículo de secundaria.

En cuanto al desarrollo de competencias digitales, además de creación de entornos web colaborativos, programaron y construyeron instrumentos de recogida y presentación de la información a través de placas controladoras *Micro:Bit* y sensores para medir *in situ*, a través de la ya mencionada salida de campo, parámetros fisicoquímicos esenciales para la caracterización de un ecosistema fluvial (pH, temperatura, turbidez, total de sólidos disueltos…) que condicionan al río y a la vida extremófila que habita en sus aguas y en su entorno. Esta estrategia, basada en el trabajo de campo y la indagación, responde a las recomendaciones de Lazonder y Harmsen (2016) para promover un aprendizaje auténtico y duradero.

Así, el alumnado analizó e interpretó los datos obtenidos mediante herramientas de representación gráfica, y profundizó en el análisis de la controversia científica entre diferentes líneas de investigación sobre el río, integrando así prácticas de argumentación y pensamiento crítico, fundamentales para una alfabetización científica contemporánea (Puig et al., 2023). En este sentido, los estudiantes investigaron, abordando así contenidos curriculares de Física y Química (Publicación 5), al mismo tiempo que profundizaban en la caracterización biológica y geológica del río Tinto (Publicación 4) y tomaron nota acerca de los aspectos culturales, sociales, e históricos que acontecieron y condicionaron la zona (publicación 6).

Tras la toma de datos, en la fase de estructuración se planteó la necesidad de construir de forma colaborativa una maqueta del río siguiendo los procesos de la modelización. En esta maqueta, diseñada y creada de forma colaborativa, se confeccionó como un modelo de la cabecera original para comprender los procesos de la mezcla de aguas a diferentes pH que acontecen en la zona. Su diseñó facilitó la interdisciplinariedad, integrando mediante artes plásticas caracterizarla con elementos geomorfológicos, vegetación endémica de la zona, así como el diseño de un sistema de canalización de aguas para usar los sensores programados en el aula con la finalidad de entender, predecir y comunicar fenómenos basados en evidencias (NGSS, 2013; Oliva, 2021; Schwarz et al., 2009).

La fase de aplicación se desarrolló a través de un debate estructurado articulado en diferentes bloques temáticos y con dos posturas enfrentadas: restauradores y conservadores. Su diseño se ejecutó siguiendo las recomendaciones de autores como Zeidler, (2014) para su correcto desarrollo: impulsar el análisis crítico de problemas abiertos y controvertidos, estimular el debate en torno a cuestiones científicas de relevancia social, incorporar el razonamiento moral en el tratamiento de dilemas éticos y situar la formación del carácter como una meta educativa a largo plazo. En este sentido, abordar temáticas controvertidas en el aula resulta esencial para superar la mera transmisión memorística de hechos, favoreciendo que el alumnado formule preguntas, despierte su interés por el conocimiento a través de la indagación y desarrolle la capacidad de debatir, consensuar y proponer soluciones fundamentadas (Estepa y Delgado-Algarra, 2021).

La fase de aplicación prosiguió con la finalización de recopilación de datos y respuestas a preguntas y actividades estructuradas en sus espacios web colaborativos para lograr una consolidación de los aprendizajes, así como la realización de una Gymkana sobre aspectos históricos y sociales relacionados con el río Tinto y su entorno (ANEXO 6), con el fin de ahondar en contenidos de Geografía e Historia como los inicios de la revolución industrial en el sur de España, los diferentes sectores de producción o las diferencias sociales de la época.

Por último, la fase de conclusión y comunicación se llevó a cabo con la finalidad de expresar y difundir los conocimientos aprendidos. Los productos finales, además del espacio web colaborativo fue una presentación colaborativa que se expuso en la Universidad de Huelva para presentar los resultados de la investigación, además de la creación de un Podcast (Anexo 7) acerca de todo lo que aprendieron y desarrollaron en las 2 semanas del proyecto. Estas prácticas se alinean con las propuestas para la enseñanza de ciencias orientadas al desarrollo de competencias (Blanco-López et al., 2018). Relativo a esto, la comunicación, junto al pensamiento crítico, la creatividad y la colaboración se erigen como habilidades esenciales para afrontar con éxitos los desafíos a los que se enfrenta la ciudadanía hoy en día (Jayakumar, 2009; P21, 2009), siendo además uno de los componentes fundamentales de la indagación (*National Science Education Standards*, 1996).

Finalizada la fundamentación y justificación de su diseño e implementación, se completa el O.E.2. con el análisis una situación de aprendizaje que permitió a los estudiantes problematizar el contexto, diseñar instrumentos de investigación, explorar el medio y elaborar interpretaciones fundamentadas para el análisis del patrimonio (Fernández-Santín y Feliu-

Torruella, 2020). La organización de las actividades y las metodologías aplicadas favorecieron en todo momento el trabajo cooperativo y el aprendizaje activo a través de la investigación práctica y la reflexión compartida.

Respecto al O.E.2.1., se ha desarrollado y desglosado en los capítulos de libro correspondiente a las publicaciones 4, 5 y 6 una tabla de categorías que ha sido completada en la confección de esta tesis, disponible para su consulta en el anexo 8. Además, este instrumento evaluativo se ha desarrollado y aplicado teniendo en cuenta otras categorías emergentes definidas en el marco teórico de esta tesis, como la competencia digital según los estándares ISTE para estudiantes (ISTE, 2018), la competencia digital desarrollada a través del pensamiento computacional (Ortega-Ruipérez, 2020), el desarrollo argumentativo (Toulmin, 2003) y el desarrollo del pensamiento crítico en base a sus habilidades (Facione, 2007). Estos últimos dos aspectos han cobrado especial relevancia en esta tesis, ya que la competencia digital actúa como pilar que refuerza el pensamiento crítico, facilitando la gestión de la información y la toma de decisiones informadas (Bolo-Romero et al., 2023).

5.2.3 El pensamiento computacional, la indagación y la modelización para la comprensión de contenidos científicos abstractos

Otro de los objetivos principales de estas tesis es integrar conjuntamente metodologías de indagación, modelización y procesos de resolución de problemas como es el pensamiento computacional. En este subapartado daremos respuesta al O.E.3. ya que, una vez delimitada y validada su idoneidad y pertinencia para trabajar con ellas de forma integrada, a partir de las publicaciones 5, 7 y 9, se analizarán y realizarán conclusiones a través de un ejemplo ilustrativo esta convergencia metodológica y que ha servido para facilitar la comprensión de contenidos abstractos de alta complejidad intelectual como es el pH y su escala logarítmica.

La elección de este contenido no fue arbitraria. Diversos estudios han evidenciado que, a pesar de haber sido tratados en el aula y de su presencia en contextos cotidianos, conceptos como el pH, la acidez y la neutralización continúan generando importantes dificultades de comprensión entre los estudiantes de secundaria (Kala et al., 2013; Lin y Chiu, 2007; Jiménez-Liso et al., 2000; López-Banet et al., 2021; Pan y Henriques, 2015; Sheppard, 2006). Entre los principales errores conceptuales se encuentran la interpretación lineal de la escala logarítmica del pH, la creencia de que un pH igual a 0 implica neutralidad, la asociación de valores elevados de pH con una mayor acidez, y la idea de que todo proceso de

neutralización produce una solución neutra, reduciendo además la acidez a un mero aspecto corrosivo.

A raíz de las preguntas formuladas por el alumnado como “¿por qué el agua es roja?”, "¿Podemos cambiar sus características?" o “¿qué nos pasa si metemos la mano en el río?” se desencadenó un proceso de indagación (figura 29) que, tras problematizar, a través de preguntas relevantes (Furman y Podestá, 2009; Pedaste et al., 2019) expresaron sus ideas e hipótesis al respecto. Posteriormente, comenzó con la búsqueda de información acerca que qué parámetros fisicoquímicos son necesarios para caracterizar un río, con qué instrumento se miden, en qué consisten y si se pudiese construir nuestros propios instrumentos de toma de datos como una necesidad de que el alumno no sólo adquiera conocimiento científico, sino que además, sean capaces de programar y diseñar herramientas en base a los requerimientos actuales en materia de alfabetización y competencia digital (DIMACS, s. f.; ISTE, 2018; PNCD, 2025). Con la ayuda del docente, se concretaron y se introdujeron y enseñaron en el aula las placas Micro:bit y los sensores, explicando conceptos básicos acerca de su funcionamiento.

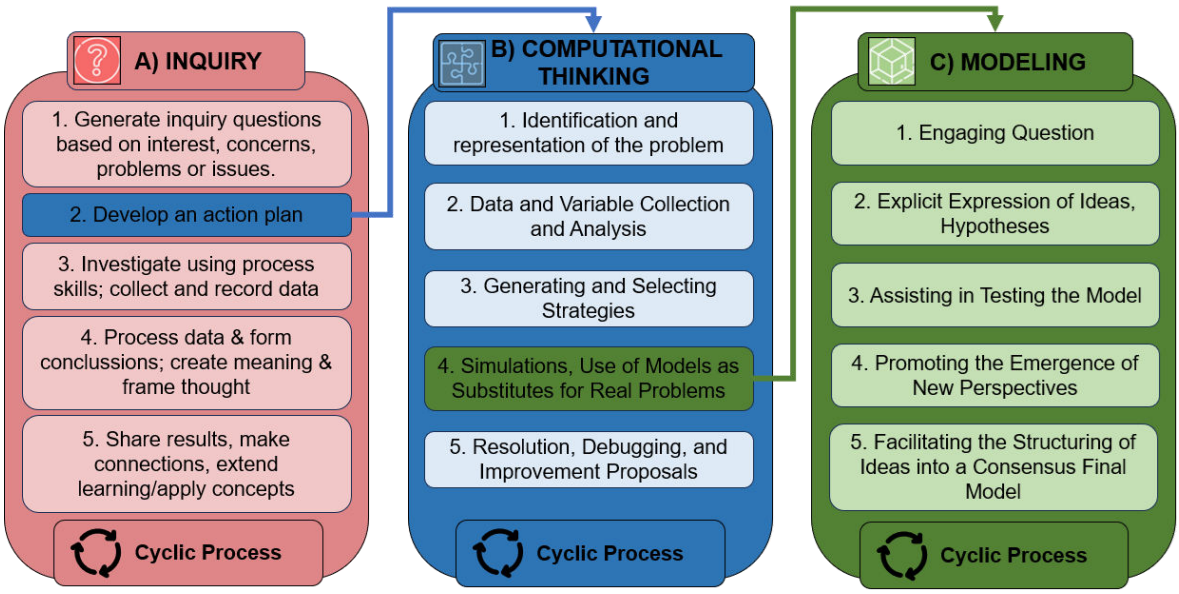


Figura 29. Representación que ilustra cómo se vertebran los ciclos de la indagación, el pensamiento computacional y de la modelización. Elaboración propia

A partir de este punto, se desarrollaría el ciclo del pensamiento computacional (desarrollado en la publicación 2 del compendio de esta tesis), donde el alumnado, a través de una clase introductoria a la programación en bloques a través de *Makecode.org*, aprendieron fácil y rápidamente la lógica algorítmica y procesal (Bocconi et al., 2016; Weintrop et al., 2016) para programar a través de códigos sensores de turbidez, temperatura,

total de sólidos disueltos y pH. Con este último incluso aprendieron a calibrarlo, lo que les ayudó a entender en gran medida el concepto de pH y su escala asociada, así como a realizar abstracciones asociando rangos de valores a 3 posibles estadios: ácido, neutro o básico.

Es importante remarcar que, debido al escaso tiempo con el que se contaba, al alumnado se les proporcionó los bloques que conformaban la secuencia algorítmica desordenada y sin los cálculos y condicionales matemáticos resueltos, esto les ayudaría a desarrollar el pensamiento algorítmico, lógico y matemático en el montaje de la secuencia de programación como parte del desarrollo del pensamiento computacional.

La salida de campo fue una actividad enriquecedora que permitió conocer y tomar datos con herramientas programadas y construidas por el alumnado, recopilados en sus respectivos cuadernos de campo, y que permitiría al alumnado desarrollar la práctica en un contexto real dando sentido a los contenidos que se trabajaban en las asignaturas de Biología y Geología y Física y Química. Tras producirse la primera mezcla de aguas entre el cauce principal del río Tinto de pH 4,6 cercano con el primer afluente proveniente de la escombrera minera y con pH cercano a 2,2, el alumnado seguía manifestando que la mezcla de estos dos cauces daría un pH en torno a 3,4. Esta incomprensión de lo que supone entender que la concentración de pH atiende a una escala logarítmica y no lineal, supondría la necesidad de tomar muestras del cauce principal y los 2 primeros afluentes.

Aquí se consideraría la necesidad de construir un modelo de lo que acontecía en el contexto real, desencadenando así el ciclo de la modelización (Couso, 2020), entendida como el proceso para la construcción de representaciones explicativas que ayudan a comprender fenómenos científicos (Oh y Oh, 2011; Schwarz et al., 2009). De este modo, se consensuó realizar una maqueta de la cabecera del río (figura 30) en la que el alumnado dibujó a priori en un papel con la ayuda de una foto aérea de la zona y, junto con la ayuda del docente, se pusieron en común con qué materiales se iba a diseñar la maqueta y cómo harían a canalizar de forma efectiva las muestras tomadas en la zona y hacer mediciones en ella sin que rebosara o estropeara la maqueta. Tras revisar y consensuar el modelo final, se aplicó el modelo y el alumnado investigó cómo variaba el pH conforme adicionaba diferentes volúmenes de muestras de agua de pH controlado.



Ilustración 30. Fotografía de unos de los modelos diseñados y creados de forma colaborativa por un grupo de alumnos donde se aprecian botellas con muestras tomadas en la salida de campo, tiras de pH y un sensor de pH construido y programado por ellos. Elaboración propia.

Una vez efectuado el ciclo de la modelización, el alumnado, volvería a continuar el ciclo de la indagación, ya con sus datos recopilados y expresados, los transformaron en pruebas que darían respuesta a las preguntas planteadas, obteniendo conclusiones y que fueron comunicadas a través de presentaciones orales, podcast y defendidas como argumentos de peso en los debates estructurados realizados en el aula.

De esta forma, y a raíz de los resultados de las publicaciones 7, 9 y 11, se defiende que hubo una mejora altamente significativa del concepto de pH, pOH, alcalinidad, así como de su escala logarítmica. Estos tres enfoques pueden articularse de forma sinérgica para favorecer una comprensión profunda de los fenómenos científicos, así como la capacidad de generar productos de ciencia (Couso, 2020), el desarrollo del pensamiento crítico y la capacidad de aplicar el conocimiento en situaciones nuevas. La convergencia de estas tres metodologías evidenció especialmente que el alumnado no sólo adquirió una mejor comprensión del concepto de pH, sino que también lograron transferir las habilidades adquiridas a contextos nuevos, como el análisis de ambientes extremos y la discusión de la controversia científica en torno al origen del color del río (Amils, 2012; Nieto y Olías, 2021; Olías y Nieto, 2014). Alcanzándose a responder el objetivo O.E.3. asociados Esta transferencia realizada a partir de entornos de programación favorece un aprendizaje significativo y motivador para el alumnado (Paucar-Curasma et al., 2023) y se alinea con los

objetivos de una educación científica orientada a la resolución de problemas reales y de trabajo colaborativo (Lee et al., 2021; NRC, 2012; Zamorano et al., 2018) además de actividades relacionadas con la exposición, comunicación, divulgación como es, por ejemplo, la creación y participación en el III Concurso Nacional de Podcast escolar expuesto en el Anexo 7.

5.3 Desarrollo del pensamiento computacional y de las competencias digitales

En relación con el P.4. y los objetivos O.E.4 y O.E.5, se efectuará eñ análisis de la secuencia de enseñanza implementada muestra una adquisición significativa de competencias digitales y de habilidades asociadas al pensamiento computacional (CT) en el alumnado. Los resultados de la publicación 9 sugieren que la programación de sensores de pH mediante placas Micro:bit, en un contexto interdisciplinar STEAM y patrimonial, propició una aproximación activa y significativa a conceptos científicos, digitales y de alfabetización computacional.

Respecto al desarrollo de habilidades de pensamiento computacional, el ciclo aplicado se fundamentó en los procesos de descomposición, reconocimiento de patrones, abstracción y formulación de algoritmos, siguiendo el modelo planteado en la publicación 2 del compendio y respaldado por diversos autores y organizaciones (Bocconi et al., 2016; DIMACS, s. f.; Ortega-Ruipérez, 2020). Esta estructuración permitió abordar la resolución de problemas reales mediante estrategias tecnológicas, desarrollando una comprensión más profunda de los fenómenos naturales desde un enfoque algorítmico y sistemático.

Respecto a las competencias digitales, la programación mediante *MakeCode* contribuyó a la adquisición de competencias en programación visual, en la integración de sensores, y en la representación y análisis de datos, facilitando el acceso a la codificación educativa incluso para estudiantes sin experiencia previa. Esta aproximación, según Kieu et al. (2023), favorece el pensamiento lógico, la creatividad y el aprendizaje significativo.

El marco de referencia para valorar las competencias digitales y de pensamiento computacional desarrolladas fue doble. Por un lado, se tomaron los estándares ISTE (International Society for Technology in Education, 2018), y por otro, se tuvo en cuenta el Marco de la Competencia Digital Educativa (PNCD 2025) promovido a nivel nacional. Según la triangulación de datos obtenida en la publicación 9 (pretest, debate y observación de producciones), los estudiantes mostraron evidencias de progreso en los seis estándares ISTE:

- Empowered Learner: El alumnado asumió un rol activo en su aprendizaje, estableciendo metas de programación y experimentación, y demostrando competencia en el uso de tecnología educativa.
- Digital Citizen: Se abordó el uso ético de los datos recogidos acordes con el quehacer científico, haciendo varias mediciones para establecer medias.
- Knowledge Constructor: Los estudiantes buscaron información, analizaron datos de pH y construyeron nuevos conocimientos vinculados a la realidad ambiental del río Tinto.
- Innovative Designer: Diseñaron y programaron soluciones originales para la medición y visualización de datos de pH.
- Computational Thinker: Aplicaron estrategias de resolución de problemas basadas en el análisis de datos y la creación de algoritmos simples.
- Creative Communicator: Comunicaron sus resultados de manera creativa mediante gráficos, presentaciones y debates.

Complementando lo aportado en el compendio, se aporta un análisis que se realiza en función al PNCD (2025), permitiendo identificar el desarrollo de diferentes ámbitos competenciales puestos en marcha:

- Área 1: Información y alfabetización digital: Búsqueda, evaluación crítica y tratamiento de datos ambientales obtenidos mediante sensores.
- Área 2: Comunicación y colaboración digital: Recopilación e intercambio de resultados en entornos digitales, además de discusiones acerca de datos obtenidos en debate en debates.
- Área 3: Creación de contenidos digitales: Diseño y creación de espacios web colaborativos, programación de algoritmos para la construcción y uso de sensores y generación de representaciones gráficas.
- Área 5: Resolución de problemas: Aplicación de soluciones tecnológicas mediante el uso de sensores y adaptación de la programación a los requisitos de la investigación.

En lo que respecta a la secuencia, se concluye que favoreció el desarrollo de habilidades propias de la alfabetización científica crítica (Hodson, 2011; Guerrero y Torres-Olave, 2022), integrando la capacidad para interpretar datos, tomar decisiones fundamentadas y valorar las implicaciones éticas y socioambientales del uso de tecnología en contextos reales. En este sentido, se responde a la pertinencia de la alfabetización digital

crítica para formar ciudadanos capaces de afrontar retos tecnológicos y medioambientales de manera responsable (OECD, 2023).

En relación con los objetivos específicos planteados (O.E.4 y O.E.5), los resultados obtenidos sugieren que el diseño de tareas significativas basadas en la programación de sensores dentro de una situación de aprendizaje contextualizada no solo promueve la comprensión del pensamiento computacional como herramienta de resolución de problemas, sino que también impacta positivamente en la adquisición de competencias digitales integradas en la alfabetización científica del alumnado.

5.4 Emociones académicas: implicación y aprendizaje

Para dar respuesta a la P.5, así como la consecución de los objetivos O.E.6.1, O.E.6.2, y O.E.6.3, se presenta aquí el análisis emocional de la implementación de la secuencia didáctica interdisciplinar basada en metodologías activas, el uso de tecnologías y el trabajo en torno a un patrimonio controversial. Estos resultados se obtuvieron a partir de los cuestionarios sobre emociones (Anexo 3) del río Tinto tras la realización completa de la secuencia por parte del alumnado, así como de las emociones que reflejaron en una sección del cuaderno de campo y que se vincularon con los ámbitos en los que se dividía el cuestionario.

La práctica llevada a cabo movilizó un amplio espectro de emociones académicas en el alumnado, categorizadas y evidenciadas en la publicación 10. Desde un enfoque que reconoce el papel central de las emociones en los procesos cognitivos y motivacionales (Pekrun, 2006; Linnenbrink-García y Pekrun, 2011), el análisis muestra la emergencia de emociones epistémicas, de logro, temáticas y sociales, cuya aparición y predominio fluctuaron según el tipo de actividad desarrollada. El estudio de las emociones académicas supuso un aspecto fundamental para comprender la implicación, fortalezas, debilidades que subyacen tras el análisis de las emociones suscitadas y manifestadas por parte del alumnado, corroborando, además, la idea de que dichas emociones actúan como catalizadoras o inhibidoras del compromiso y el rendimiento académico (Linnenbrink-García y Pekrun, 2011; Jiménez-Liso et al., 2021) y que se consideran muy importantes considerar para el desarrollo de propuestas o actividades en las aulas de ciencias.

En consonancia con investigaciones previas como la de Wang et al., (2024), los resultados derivados de la publicación 10 del compendio muestran que la implementación de metodologías activas, particularmente la indagación y la modelización en contextos

STEAM, favorece la aparición de emociones epistémicas significativas como la curiosidad y la sorpresa, así como emociones de logro como el orgullo y el disfrute. Este tipo de planteamientos sostienen que las propuestas STEAM auténticas generan una implicación emocional significativa (García-Carmona, 2022). Estas emociones de orgullo y disfrute emergieron especialmente cuando el alumnado percibió un alto nivel de control sobre las tareas y atribuyó valor a las actividades realizadas, en línea con los principios de la Teoría Control-Valor (Pekrun, 2006; Pekrun y Linnenbrink-García, 2012). Sin embargo, a diferencia de lo reportado por Wang et al. (2024), en el presente estudio se identificó una menor conexión entre el uso de tecnologías como sensores y placas programables y los contenidos conceptuales vinculados al patrimonio o a las ciencias naturales. Esta desconexión limitó la aparición de emociones temáticas, que en otros trabajos se relacionan estrechamente con la comprensión crítica de los contenidos abordados. Por tanto, se pone de relieve la necesidad de diseñar secuencias didácticas que integren de manera más efectiva las habilidades prácticas con la dimensión conceptual, de modo que se potencie tanto el aprendizaje cognitivo como el emocional (Martínez-Borreguero et al., 2019; Jiménez-Liso et al., 2021).

Durante las actividades de recolección de datos y trabajo de campo, surgieron principalmente emociones como la curiosidad, el disfrute y la sorpresa, vinculadas al descubrimiento de fenómenos reales. Estas emociones, que favorecen estrategias de aprendizaje profundas y fomentan el pensamiento analítico y creativo (Pekrun, 2006; Jiménez-Liso et al., 2021), se vieron facilitadas por la autonomía ofrecida en el manejo de tecnologías, la novedad de los dispositivos utilizados y la conexión directa con fenómenos reales en el entorno próximo. Investigaciones previas destacan que las prácticas basadas en la indagación y la experimentación activa promueven de forma natural emociones epistemológicas, al situar al alumnado en escenarios de exploración, construcción de significado y descubrimiento de lo inesperado (Loderer et al., 2020; Jiménez-Liso et al., 2021). Esta relación se confirmó en los registros cualitativos, donde expresiones de sorpresa, admiración y reflexión crítica evidenciaron un elevado compromiso emocional y cognitivo en torno a las actividades exploratorias, consiguiendo abarcar satisfactoriamente el objetivo O.E.6.1.

Respecto a las actividades de programación, construcción y uso de sensores, además de emociones de logro como el orgullo y el disfrute asociadas a la superación de retos técnicos, también emergieron emociones negativas como la frustración y la ansiedad. Estas emociones reflejaron un estrés ligado a la presión por la falta de tiempo a la hora de programar

y construir herramientas de captación de datos a través de sensores y placas *Micro:bit*, y que estuvo ligado con las dificultades técnicas persistentes y la percepción de incapacidad para resolver errores tecnológicos. Como destacan Loderer et al. (2020) y Martínez-Borreguero et al. (2019), estas emociones, lejos de suponer un freno, constituyen oportunidades para desarrollar resiliencia emocional y autorregulación en contextos educativos tecnológicos. El marco teórico respalda que actividades tecnológicas basadas en la programación y el uso de sensores, al requerir control instrumental y resolución de problemas, promueven emociones epistemológicas como la curiosidad y la satisfacción por el descubrimiento (Jiménez-Liso et al., 2021; Loderer et al., 2020). Los resultados muestran cómo, tras superar obstáculos, la frustración inicial se transformó en satisfacción y orgullo, fortaleciendo la autoconfianza del alumnado en el uso de dispositivos electrónicos. Además, en términos de distribución emocional, las actividades tecnológicas generaron principalmente emociones epistemológicas (48,7%), seguidas de logro (32,5%), sociales (14,5%) y en menor medida temáticas (4,3%), confirmando que los retos técnicos promovieron emociones ligadas al descubrimiento, la superación personal y la colaboración en la resolución de problemas, logrando así dar respuesta al objetivo O.E.6.2.

Finalmente, sobre las emociones suscitadas a raíz del trabajo sobre el patrimonio controversial del río Tinto y su entorno, predominaron ampliamente las emociones temáticas (83%), acompañadas en menor medida de emociones epistemológicas (11%), sociales (3%) y de logro (3%). El análisis evidenció emociones positivas como la admiración, el disfrute y la curiosidad ante la riqueza histórica y natural del entorno, pero también emociones negativas como el disgusto y la ira, surgidas a partir de reflexiones críticas sobre el impacto ambiental y los aspectos sociales ligados a desigualdades de clases debido a la explotación de la sociedad local por parte de la sociedad inglesa, así como desigualdades en cuanto a los roles de género de la época, poniendo de manifiesto el nivel de implicación emocional que suscitan los patrimonios controversiales en el alumnado (Estepa y Martín-Cáceres, 2018; Gómez-Villar y Canessa-Vicencio, 2019). Estas emociones favorecieron el pensamiento crítico y la toma de conciencia ética, como se evidenciaría en la publicación 10 y en el punto 5.5. del presente capítulo. Este compromiso ético y crítico consolida la conexión entre el aprendizaje de contenidos y el desarrollo de una conciencia social activa, como también apuntan Sadler et al. (2007). Estos resultados imbricarían de igual forma con estudios que sostienen que los debates patrimoniales movilizan emociones intensas al enfrentar a los estudiantes con dilemas morales y con la necesidad de evaluar críticamente el pasado (Estepa y Martín-

Cáceres, 2018), alineándose con los resultados presentados que erigen a los patrimonios controversiales como potentes generadores de conflictos emocionales y dilemas éticos, estimulando procesos de reflexión crítica colectiva. Lo que permite dar cumplimiento al objetivo O.E.6.3.

Para concluir este punto, tras el análisis de las emociones académicas, se defiende en esta tesis doctoral que las emociones académicas no emergen de forma homogénea, sino que están moduladas por factores como la naturaleza de la tarea, el contexto de aprendizaje, la percepción de control y valor, así como con la conexión con la realidad social y cultural. La propuesta aquí analizada movilizó una amplia variedad de emociones, entre las que destacan: epistémicas (favorecidas principalmente por los procesos de indagación, relacionadas con el centro de interés y el uso de sensores), de logro (vinculadas principalmente a la superación de los retos tecnológicos y a la percepción de autoeficacia del alumnado), temáticas (suscitadas a partir del análisis ético e histórico del patrimonio controversial), y sociales (suscitadas en situaciones de trabajo colaborativo y de empatía, como una respuesta emocional compleja ante narrativas de injusticia, opresión y deterioro ambiental, favorecida por el enfoque patrimonial crítico y la contextualización histórica y social del proyecto).

Por tanto, se concluye que, a partir de los resultados obtenidos, para fomentar un aprendizaje emocionalmente significativo en contextos STEAM es necesario diseñar tareas que vinculen explícitamente lo práctico, lo conceptual y lo ético. Además, es imprescindible garantizar márgenes adecuados de autonomía, tiempo y acompañamiento, poniendo de relevancia la necesidad de operativizar y planificar el papel de guía del docente. Por último, se sugiere la necesidad de integrar los patrimonios controversiales que puedan tener una relevancia personal o social, para ser capaces de activar y dilemas y posicionamientos ante la gestión de dichos patrimonios. El vínculo identitario con dicho patrimonio podría suscitar emociones que hagan que el alumnado conecte de forma más profunda con la problemática y tome partido de una forma activa como agentes de cambio, ante las necesidades de formar a sociedades mucho más comprometidas y críticas con los problemas que les rodean y afectan (Puig et al., 2023).

5.5 Pensamiento crítico y argumentación en contextos STEAM a través de una controversia patrimonial

Para dar respuesta a la P.6, se detalló de manera pormenorizada cómo se manifestó el pensamiento crítico del alumnado tras la implementación de la secuencia, así como la metodología utilizada para su evaluación, según los resultados que ofreció la publicación 11 del compendio. La propuesta se estructuró en torno a un estudio de caso centrado en el patrimonio controversial del río Tinto como centro de interés, empleando una estrategia de análisis basada en el patrón de argumentación de Toulmin (1958) en relación con las habilidades de pensamiento crítico descritas por Facione (1990). Para ello, se diseñó un instrumento híbrido, el TAP-Facione, que permitió categorizar los resultados obtenidos en dos momentos clave: el cuestionario inicial y el debate final.

El cuestionario inicial proporcionó una línea base del nivel argumentativo del alumnado, donde predominaban afirmaciones simples con escasos datos, respaldos poco estructurados y ausencia de componentes más complejos del modelo (o de mayor nivel de desarrollo) como calificadores o refutaciones. Tras la implementación de la secuencia, en el debate final se evidenció un notable incremento en la diversidad y calidad de los componentes argumentativos. Emergieron elementos avanzados como calificadores y refutaciones, considerados indicadores de habilidades críticas con un mayor nivel de desarrollo (Sadler, 2007).

A raíz de los resultados de la publicación 11, se observa que la evolución se evidenció especialmente en los bloques temáticos de biodiversidad, contaminación, y restauración versus conservación. El bloque de biodiversidad fue donde los estudiantes lograron alcanzar un mayor nivel de complejidad argumentativa, incorporando afirmaciones sólidas respaldadas por datos científicos sobre la adaptación de especies endémicas a las condiciones fisicoquímicas del río. Además, este bloque concentró el mayor número de refutaciones y calificadores, demostrando una reflexión crítica profunda acerca de las implicaciones de intervenir o no sobre el ecosistema, en línea con lo propuesto por Estepa y Martín-Cáceres (2018) sobre el valor de los patrimonios controversiales como estímulo para el debate ético y científico.

En el bloque de contaminación, el alumnado mostró avances importantes en el análisis de relaciones causales entre la actividad minera histórica y el actual estado del río. Aunque en menor medida que en biodiversidad, se observaron mejoras en la calidad de las

garantías y respaldos utilizados, superando las respuestas iniciales que se limitaban a percepciones generales sobre la "contaminación" del agua. En restauración versus conservación, los estudiantes desplegaron razonamientos donde ponderaron las consecuencias de distintas acciones humanas sobre el patrimonio natural, integrando juicios éticos y valoraciones científicas, un tipo de razonamiento complejo que Blanco-López et al. (2018) y Lupión-Cobos et al. (2024) asocian con proyectos STEAM basados en indagación.

Desde el punto de vista de las habilidades de pensamiento crítico evaluadas con el instrumento Facione-TAP, la interpretación e inferencia fueron las habilidades más desarrolladas tras la intervención, siendo especialmente visibles en los bloques de biodiversidad y restauración versus conservación. La habilidad de análisis también experimentó un crecimiento significativo, consolidándose en la capacidad del alumnado para relacionar datos sobre la química del agua del río con su impacto sobre los seres vivos. Aunque habilidades como la evaluación y la autorregulación mostraron un desarrollo más incipiente, su aparición en los razonamientos evidencia que los estudiantes comenzaron a adoptar posturas más reflexivas, considerando diversas perspectivas antes de emitir juicios, tal como destacan Facione (1990) y la OCDE (2015).

Además, los resultados no solo muestran el desarrollo de los niveles argumentativos y de pensamiento crítico, sino que también evidencian una mejora sustancial en los contenidos conceptuales trabajados en las tres áreas disciplinares implicadas (Biología y Geología, Física y Química, y Geografía e Historia). En línea con González et al., (2018) y Ogegbo y Ramnarain, (2022), las prácticas experimentales, la programación de sensores y la recolección de datos en el propio contexto fueron prácticas útiles para el desarrollo del pensamiento crítico, del mismo modo que brindaron evidencias concretas que permitieron al alumnado sustentar, refutar o matizar, autorregulando sus posturas durante el debate, fortaleciendo así su alfabetización científica . Especialmente destacable fue la emergencia de habilidades críticas que no se manifestaban en el cuestionario inicial, como la explicación y la autorregulación, siendo esta última fundamental para un pensamiento crítico maduro y para la construcción de una ciudadanía científica plenamente alfabetizada (Tippett et al., 2019).

De igual forma, los resultados ponen de manifiesto que el alumnado evidenció la identificación y toma de conciencia del problema, donde en varias ocasiones llegaron a auto cuestionar sus afirmaciones. En este sentido, se evidencia la presencia de habilidades de alto desarrollo del pensamiento crítico, el compromiso con el problema, una visión de futuro sin

el problema y experiencias de acción crítica en línea con los estudios que manifiestan la necesidad que el alumnado se posicione como agentes de cambio (Puig et al., 2023). De este modo, se finalizaría la consecución del O.E.7.

5.6 Limitaciones y proyecciones educativas

La implementación de la propuesta metodológica basada en la integración de indagación, modelización y pensamiento computacional en torno a una controversia patrimonial reveló diversas limitaciones y desafíos, así como proyecciones educativas relevantes, cuyas implicaciones permiten valorar su transferencia a otros contextos docentes, logrando así abarcar el objetivo O.E.7.

Entre las principales problemáticas emergentes destaca la gestión del tiempo, dificultad ya señalada como habitual en la implementación real de metodologías activas (Couso, 2014; Jiménez-Liso, 2020). La integración de prácticas experimentales, la programación de dispositivos y la toma de datos en campo exigieron tiempos de ejecución mayores de los inicialmente previstos, lo que generó ciertos desajustes en el ritmo de avance de las fases de indagación y modelización. Esta tensión, común en propuestas basadas en investigación activa (Bunterm et al., 2014; Lazonder y Harmsen, 2016), refuerza la necesidad de diseñar secuencias didácticas flexibles, que contemplen márgenes adecuados para la indagación genuina y la reflexión argumentativa.

Una de las principales limitaciones en este punto es que no se pudieron recopilar las producciones y líneas de códigos realizadas por el alumnado, lo que habría sido fundamental para poder evaluar el desarrollo del pensamiento crítico según el nivel de desarrollo de sus elementos fundamentales a partir de los trabajos de Ortega-Ruipérez (2020) y que forma parte de la tabla de categorías diseñada en esta tesis disponible en el anexo 8.

En cuanto al plano emocional, la confrontación del alumnado con dilemas éticos, sociales y medioambientales vinculados al río Tinto suscitó emociones intensas como la indignación, el disgusto o la compasión, confirmando la necesidad de prever estrategias de regulación emocional en el aula (Loderer et al., 2020; Pace, 2021). Como subraya Gómez-Villar y Canessa-Vicencio (2019), el abordaje de contenidos controvertidos implica inevitablemente un componente emocional que debe ser encauzado para fomentar la reflexión crítica y no la polarización.

En línea con lo afirmado por Pekrun y Linnenbrink-García (2014), quienes sostienen que el estudio de las emociones requiere un paradigma multimétodo, autores como Ritchie et al., (2016) han desarrollado diferentes métodos para identificar emociones experimentadas por tanto por docentes como estudiantes, incluyendo análisis cualitativos de vídeo y audio, permitiendo así realizar microanálisis mucho mejor detallados de eventos críticos que se manifiestan en entornos educativos (Bellocchi et al., 2014). En este sentido, se considera pertinente para futuras investigaciones el hecho de tener en cuenta no sólo la transcripción de lo que se dice sino la interpretación de cómo se expresa lo que se dice para delimitar mucho mejor las emociones que emergen en las aulas de ciencias.

Respecto a las dificultades propiamente dichas, se constataron diferencias iniciales en las competencias digitales, especialmente para trabajar en espacios colaborativos digitales, pero la adaptación fue relativamente sencilla. Esto supuso un reto inicial tanto para el docente como para el alumnado, y es importante tenerlo en cuenta para atender de forma personalizada las necesidades de cada alumnado, pero que evidencia la importancia de establecer estrategias previas de andamiaje y diferenciación didáctica desde la fase de diseño (Jiménez-Liso, 2020) para prevenir este tipo de situaciones. En cuanto a esto, se considera pertinente que este tipo de enfoques puedan articularse de la mejor forma con la ayuda de la asignatura o profesor de tecnología o informática en cuanto el aprendizaje de la programación o a la construcción de elementos e instrumentos tecnológico, en incluso modelizaciones ya sean físicas como maqueta o virtuales en entornos de simulación. De igual modo, se considera pertinente que este tipo de secuencias se lleven a cabo en la formación del profesorado en aras de poder seguir validando y mejorando este tipo de propuestas, y así abarcar de forma articulada este tipo de enfoques que se consideran enriquecedores para desplegar las competencias necesarias en la ciudadanía del ahora.

La necesidad de desarrollar habilidades críticas avanzadas como la explicación y, especialmente, la autorregulación fue otra dificultad notable. Aunque ambas habilidades emergieron durante la secuencia, su manifestación aún se encontraba en niveles incipientes, reafirmando las advertencias de Tippett et al. (2019) sobre la dificultad de alcanzar una alfabetización científica plena sin procesos de autorregulación explícitos y sostenidos. A pesar de que el modelo de argumentación de Toulmin es en gran medida una herramienta de análisis, autores como Erduran et al. (2004) o Pertiwi et al. (2023) defienden que un correcto desarrollo argumentativo requiere la enseñanza explícita del modelo de Toulmin. Esto permitiría guiar y facilitar al alumnado poder alcanzar la formación de argumentos más

complejos. En este sentido, se sugiere como positivo que pueda considerarse en futuros estudios que este modelo pueda enseñarse previamente en el preparatorio de los debates sobre temáticas controvertidas.

Entre los logros alcanzados, se destaca la articulación efectiva de indagación, modelización y pensamiento computacional en un contexto interdisciplinar STEAM real, favoreciendo procesos de aprendizaje profundo y transferible. La secuencia permitió que el alumnado no solo mejorara su comprensión de fenómenos científicos complejos (como el pH y su escala logarítmica) (Kala et al., 2013; López-Banet et al., 2021), sino que también adquiriera competencias de pensamiento crítico y de alfabetización científica esenciales para el siglo XXI (OECD, 2023; UNESCO, 2024). Además, el trabajo experimental de toma de datos, la construcción de modelos y la programación de sensores actuaron como palancas para fortalecer la argumentación basada en evidencias, en consonancia con los postulados de Windschitl et al. (2008) y Blanco-López et al. (2018) sobre la importancia de prácticas auténticas en contextos reales y cercanos al alumnado para el desarrollo de competencias críticas.

En cuanto a la proyección educativa, los resultados permiten identificar condiciones clave para la transferencia exitosa de este tipo de propuestas a otros contextos o centros de interés. La contextualización de la investigación en problemas sociocientíficos controversiales articuladas en patrimonios controversiales se considera fundamental porque añade un sentimiento identitario y de pertenencia que suscita conflictos y emociones internas para la gestión de este. Por otro lado, se considera pertinente la necesidad de formación docente específica en metodologías de indagación, modelización y pensamiento computacional, en línea con las recomendaciones de Bocconi et al. (2016) y Ortega-Ruipérez (2020) así como para poder desarrollar enfoques STEAM (Lupión-Cobos y García-Ruiz, 2024; Toma y García-Carmona, 2021). En relación con estas líneas de futuro, se han desarrollado ya a partir de esta tesis producciones relacionadas con la transferencia, donde se expone en un cómic para las Jornadas de la Noche Europea de los Investigadores en su edición de 2024 como un ejemplo de cómo desarrollar el pensamiento computacional de forma desconectada (anexo 5). Del mismo modo, fruto de esta tesis, ya ha sido publicada una comunicación en el congreso internacional 31 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, donde se lleva a cabo parte de la propuesta para su desarrollo e implementación en estudiantes del Grado en Educación Primaria (Campina-López et al., 2024).

Por otro lado, otro aspecto a destacar es la importancia de garantizar el acceso a recursos tecnológicos adecuados, contemplando no solo el equipamiento sino también el tiempo necesario tanto en la planificación como para su integración significativa y efectiva en la práctica. Aunque la mayoría de los dispositivos electrónicos que se pusieron en práctica son de bajo coste, algunos de ellos eran sensores profesionales de elevado coste, haciendo necesario obviar o encontrar otras formas que poder analizar ciertos parámetros fisicoquímicos. Del mismo modo, se quiere recalcar que el desarrollo del pensamiento computacional, aunque es pertinente y de fácil desempeño a través de tecnologías, éste no depende de ellas (Zapata-Ros y Pérez-Paredes, 2019) y se puede llevar a cabo aplicándolo a los procesos de indagación y modelización como una estrategia para facilitar y simplificar el proceso de resolución.

Igualmente, resulta esencial diseñar situaciones de aprendizaje flexibles, contextualizadas y orientadas a problemas reales, tal como sugieren Puig et al. (2023) y Martín-Cudero et al. (2024) para propuestas STEAM auténticas. Finalmente, debe considerarse de manera explícita la dimensión emocional, implementando estrategias de contención y acompañamiento emocional durante el trabajo con contenidos controvertidos, como destacan Estepa y Martín-Cáceres (2018).

En conjunto, se concluye que los datos refuerzan la idea de que el trabajo interdisciplinar sobre patrimonios controversiales, articulado mediante indagación, modelización y pensamiento computacional en un marco STEAM, no solo enriquece el aprendizaje científico-técnico del alumnado, sino que impulsa el desarrollo de competencias críticas, el compromiso ético y la acción socialmente responsable (Estepa y Martín-Cáceres, 2018; Puig et al., 2023), consolidando una ciudadanía científicamente propiamente alfabetizada, reflexiva y comprometida con su entorno (ISTE y CSTA, 2011; OECD, 2019; Tippett et al., 2019; UNESCO, 2024). Así, este apartado responde al O.E.8. y, en parte, a la pregunta principal de investigación y a su objetivo general, y da pie a considerar la posibilidad de que se pueda llevar a cabo este tipo de prácticas en otro tipo de contextos de similares características y a través de otro tipo de problemas sociocientíficos ligados a patrimonios controversiales en etapas de Educación Secundaria.

5.7 Contribuciones de la propuesta a la tercera visión de la alfabetización científica crítica

Para consecución más amplia de la pregunta general, se ha querido dedicar este último apartado donde, más allá de los logros, dificultades y obstáculos abordados en el apartado anterior, aquí se pretende evidenciar que esta investigación aporta elementos clave para avanzar hacia una alfabetización científica crítica, comprometida y situada en contextos reales. La propuesta metodológica diseñada e implementada en esta tesis doctoral contribuye de manera notable al impulso de la tercera visión de la alfabetización científica, tal como plantean Hodson (2011) y Sadler (2007), entendida no solo como la adquisición de conceptos y procedimientos científicos, sino como la formación de ciudadanos críticos, comprometidos y capaces de actuar de manera reflexiva en torno a cuestiones socio-científicas. Siguiendo el modelo propuesto por Tippett et al. (2019) (figura 1), las aportaciones de esta investigación se analizan a través de las tres dimensiones interrelacionadas: disciplinaria, aplicada y fundamental.

5.7.1 Dimensión Disciplinaria

La dimensión disciplinaria, centrada en el dominio conceptual y procedimental de la ciencia, se ha desarrollado a partir de la integración de prácticas auténticas de indagación, modelización y pensamiento computacional, en consonancia con las recomendaciones de Pedaste et al. (2015) y Couso (2020). La indagación científica, articulada a través del ciclo de indagación basado en modelos (MBI), permitió que el alumnado formulase preguntas genuinas, diseñara investigaciones, recogiera datos mediante instrumentos construidos ad hoc y elaborara explicaciones fundamentadas. Esta estructura, además, incorporó prácticas clave como el control de variables, la interpretación crítica de datos y la construcción de conclusiones razonadas, tal como proponen Duschl et al. (2007).

La modelización se situó como un eje vertebrador para la comprensión de fenómenos abstractos y complejos, mediante la construcción de una maqueta física del río Tinto y su sistema de canalización, representando el flujo de aguas de diferente acidez (Schwarz et al., 2009; Oh y Oh, 2011). Esta estrategia no solo facilitó la transición entre los datos empíricos recogidos y las teorías científicas, sino que también favoreció la visualización y representación de procesos dinámicos, superando barreras conceptuales habituales en la enseñanza de fenómenos fisicoquímicos (Justi, 2019).

El pensamiento computacional, promovido a través del diseño y la programación de sensores con placas *Micro:bit*, permitió al alumnado desarrollar habilidades de descomposición de problemas, abstracción y secuenciación algorítmica, tal como sostienen Bocconi et al. (2016) y Weintrop et al. (2016). La combinación de recogida automatizada de datos y su interpretación crítica reforzó la comprensión de conceptos como el pH y la turbidez, abordando errores comunes descritos en la literatura (Kala et al., 2013; López-Banet et al., 2021).

5.7.2 Dimensión Aplicada

La dimensión aplicada, entendida como la capacidad de transferir el conocimiento científico a la resolución de problemas de la vida real, se vio especialmente fortalecida mediante la contextualización del aprendizaje en torno al patrimonio controversial del río Tinto. La elección de este contexto real, cargado de implicaciones sociales, ambientales e históricas, permitió anclar el aprendizaje en problemas sociocientíficos auténticos, siguiendo las recomendaciones de Sadler (2011) y Estepa y Martín-Cáceres (2018).

El trabajo experimental realizado desde la construcción de sensores hasta la programación de dispositivos de medición ambiental, constituyó un ejemplo claro de diseño de ingeniería educativa (*National Research Council*, 2012), donde el alumnado no solo aplicó sus conocimientos científicos y tecnológicos, sino que también afrontó la necesidad de buscar soluciones viables a problemas complejos. La creación de la maqueta funcional del río Tinto, incluyendo sistemas de canalización para representar distintas condiciones ambientales, supuso una aplicación directa de habilidades de diseño y modelización científica en un entorno interdisciplinar, integrando ciencias, tecnología e ingeniería en un marco STEAM auténtico (Martín-Cudero et al., 2024; Toma y García-Carmona, 2021). Además, la elaboración de blogs, presentaciones y otros productos digitales permitió fortalecer las competencias de comunicación científica, alfabetización digital y trabajo colaborativo, tal como plantean Blanco-López et al. (2018) e ISTE (2018). Estas producciones no solo sirvieron como evidencias de aprendizaje, sino que también fomentaron la transferencia del conocimiento adquirido hacia públicos más amplios, reforzando así la función social de la ciencia.

5.7.3 Dimensión Fundamental

La dimensión fundamental se trabajó de forma transversal a lo largo de toda la propuesta, situándose como un eje clave para el desarrollo de una ciudadanía crítica. El pensamiento crítico fue promovido a través de actividades centradas en la evaluación de evidencias, la elaboración de argumentos bien estructurados y la justificación y toma de decisiones en contextos controvertidos (Kerr y Huddleston, 2015; OECD, 2023a; Pagès, 2019). Las fases de debate y exposición pública exigieron que el alumnado analizara distintas perspectivas, valorara la calidad de las fuentes y argumentara sus posiciones de manera lógica y fundamentada (Facione, 2007).

El uso de patrimonios controversiales (SSI) como eje central de la propuesta, siguiendo las recomendaciones de Estepa y Martín-Cáceres (2018), favoreció la implicación emocional del alumnado, generando sentimientos como la indignación, la preocupación o la compasión ante los problemas socioambientales analizados. Como apuntan Loderer et al. (2020), la movilización emocional, cuando es adecuadamente canalizada, puede actuar como motor para la reflexión crítica y la toma de conciencia ética.

La gestión de estas emociones, junto con el trabajo explícito sobre habilidades de autorregulación cognitiva y emocional, contribuyó al desarrollo de competencias metacognitivas esenciales para la alfabetización científica crítica (Pekrun, 2006; Jiménez-Liso et al., 2021). Actividades como la revisión crítica de los argumentos elaborados, la autoevaluación de las producciones digitales y el análisis de las posiciones debatidas permitieron que el alumnado reflexionara sobre sus propios procesos de pensamiento (Duschl et al., 2007).

CHAPTER V. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The final chapter of this doctoral dissertation aims to interpret and analyze the results obtained throughout the study. To this end, it discusses the main findings derived from the publications that make up the compendium, relating them to the theoretical framework, the overarching research question, and the specific objectives formulated. Rather than merely compiling results, this chapter offers a critical reflection on the contributions, limitations, and future prospects of the proposed intervention.

The discussion is structured around the seven sub-questions posed in the study, each of which is linked to a specific objective (O.E.1 to O.E.7). This structure aims to provide a coherent, integrated, and well-founded interpretation of the dimensions explored: the methodological integration of inquiry-based learning, modeling, and computational thinking; the learning of scientific and technological content; the development of computational thinking through sensor use; the construction of critical thinking via the interdisciplinary STEAM approach; the academic emotions generated during implementation; and the educational projection and transferability of the experience.

5.8 Methodological Integration: Inquiry, Modeling, and Computational Thinking in Interdisciplinary Proposals

One of the main objectives of this thesis was to explore how the joint implementation of inquiry-based learning, modeling, and computational thinking is articulated (O.E.1), addressing the question of which theoretical and methodological elements should be considered for such integration in a learning scenario (P.1). This articulation has been analyzed from a theoretical perspective through a literature review and a bibliometric analysis of recent scientific production. To respond to this section, the findings from Publications 1, 2, and 3, comprising the initial phase of the compendium, are considered.

As previously established in the theoretical framework, the relevance of integrating these three pedagogical approaches is supported by numerous studies (Aragón et al., 2014; Bocconi et al., 2016; Chiu & Lin, 2019; Couso, 2014, 2020; Grover & Pea, 2017; Jiménez-Liso, 2020; Jiménez-Liso et al., 2019; Muñoz-Campos et al., 2020; Ogegbo & Ramnarain, 2022; Oliva, 2021; Reyes-Cárdenas & Padilla, 2012; Sutiani et al., 2021; Vergara & Cofré, 2012; Weintrop et al., 2016; Ying-Yan et al., 2020), institutions and organizations (DIMACS, n.d.; Directive 2000/60/EC of the European Parliament; European Commission, 2015; ISTE, 2018;

ISTE & CSTA, 2011; NRC, 2011, 2012; OECD, 2023; The Royal Society, 2012; UNESCO, 2024), as well as by the curriculum itself. According to the Order of May 30 (Junta de Andalucía, 2023), the need to explicitly implement such research-based strategies in classrooms is clearly stated. This extensive body of literature and policy documentation frames and supports the integration of modeling, inquiry, and computational thinking as well-established avenues for developing critical competencies and scientific literacy, both of which are essential for addressing the challenges our society faces in the 21st century.

However, despite growing calls for their implementation in education, several challenges and limitations related to their enactment have also been identified and considered:

Regarding inquiry-based learning, its implementation in classrooms encounters several challenges, stemming both from students' limited inquiry skills and from teachers' difficulties in designing situations grounded in inquiry (Crawford, 2007). In practice, the inquiry approach remains more present in theoretical discourse than in actual teaching practice (Couso, 2014). Similarly, modeling involves conceptual tensions, as it is often taught as a set of finalized content rather than promoted as an open-ended practice for generating scientific knowledge (Guy-Gaytán et al., 2019; Oliva, 2021; Schwarz et al., 2009).

As for computational thinking, despite increasing interest in educational technologies, there is still no clear consensus on how to effectively integrate it into the educational system (Bocconi et al., 2016). Teachers often exhibit a limited understanding of what computational thinking entails and how it should be implemented (Kale et al., 2018; Yadav et al., 2014). This issue becomes even more pressing considering that the Andalusian curriculum has already incorporated computational thinking into the 2023 Secondary Education guidelines (Order of May 30), identifying it as a specific competency in Biology and Geology, aimed at critically analyzing responses and solutions to real-life problems.

In response to these challenges, Publication 2 proposes operational definitions for computational thinking, inquiry, and modeling as a necessary first step toward facilitating their implementation in the classroom and achieving Objective O.E.1.1 of this thesis. Additionally, in line with the need to provide clear pedagogical strategies for integrating computational thinking into educational practice (Bocconi et al., 2016; Bower et al., 2017; Kale et al., 2018), the article introduces a computational thinking cycle to guide its classroom implementation, addressing Objective O.E.1.2. This cycle, grounded in a comprehensive literature review in

Publication 2, is also designed and articulated analogously to the established inquiry (Jiménez-Liso, 2020) and modeling (Couso, 2020) cycles, with the aim of facilitating its application in science education contexts. Moreover, this cycle has been implemented and integrated into the instructional sequence presented in Publications 4, 5, and 6, and is further detailed and developed in Publication 9.

Likewise, the findings of Publication 2 highlight that inquiry, computational thinking, and modelling, understood as educational strategies for understanding and solving problems, possess complementary features that justify their joint development. In this regard, considering that the combined implementation of inquiry and modeling is already supported by a robust theoretical foundation, particularly in the abundant literature on Model-Based Inquiry (MBI) in science education (Jiménez-Liso et al., 2022; López-Banet et al., 2021; Wang et al., 2015; Windschitl et al., 2008), this thesis argues that the integration of these approaches, together with computational thinking, can strengthen investigative and problem-solving processes in educational settings. These approaches share common characteristics, such as the promotion of collaborative work, with or without the use of technology.

In this regard, it is proposed that the most suitable starting point for working with these three approaches jointly is inquiry, as it provides the methodological foundation from which students or teachers formulate questions. This is in line with the Galileo Educational Network (n.d.), Guilielmo (2024), and Pedaste et al. (2015), who argue that inquiry originates from a question, issue, or problem that triggers a process in which the investigation is designed, evidence is selected and interpreted, and findings are communicated. It also aligns with Garcia-Gonzalez and Furman (2014) and Vergara and Cofré (2012), who assert that the ability to formulate research questions is the central and essential capacity of scientific and critical thinking.

Thus, through the formulation of problems, inquiry initiates and structures a research process in which both modeling and computational thinking may come into play, triggering parallel processes that support the resolution or exploration of the problem.

Regarding computational thinking, it enables the structuring, simplification, and resolution of complex problems through the creation of models and tools, transferring these skills to real-world contexts. When applied to inquiry or modeling processes, computational thinking serves as a means of operationalizing the research process, even independently of technological use. Furthermore, through the use, construction, or programming of devices,

applications, or digital content, computational thinking develops naturally and organically by engaging in code processing and algorithm refinement.

As shown in the findings of Publication 2, and even though some key authors define it as a process for problem formulation (Wing, 2010), this thesis argues, drawing on a broad body of research, that computational thinking is better understood as a process for problem solving and decomposition rather than for problem generation (Ortega-Ruipérez, 2020; Paucar-Curasma et al., 2023). This position is reinforced by the reformulative nature of the process through reduction or transformation (NRC, 2011), and by its engineering-based character (Zapata-Ros and Pérez-Paredes, 2019).

Computational thinking, therefore, is presented as a strategy applicable to both inquiry and modeling. In inquiry, it helps to break down and understand the problem, making the research process more manageable and structured and enabling more effective solution strategies. In relation to modeling, computational thinking can contribute to simplifying complex phenomena and can assist in the planning, design, and refinement of models in a more systematic and efficient manner. Through its core components, such as decomposition, abstraction, pattern recognition, and algorithmic processes, along with related elements like design, resource and tool management, and data visualization and representation, computational thinking can interweave with modeling processes. This integration facilitates a focus on the key elements to be learned, allowing for optimized, comprehensible, manipulable, and context-adaptable representations of how a given system or phenomenon functions within educational or scientific contexts.

Similarly, modeling processes begin with the formulation of a research question or problem (Couso, 2020; Oh and Oh, 2011), serving as a bridge between theoretical knowledge and the empirical world. Modeling enables the representation and prediction of phenomena through the construction of models that evolve through testing and refinement. This characteristic is essential to both inquiry-based practices and computational thinking, as the findings show that both methods are defined by the use and design of models as tools to understand problems or processes.

The results obtained from the bibliometric analyses in Publication 3 support the idea that modeling constitutes the core or fundamental link between inquiry and computational thinking in the literature reviewed. For most of the publications analysed, the main objective is the design of a product or model. Likewise, the results reveal that there are already existing

projects and studies in the field of science education that implicitly address inquiry, modeling, and computational thinking, thereby reinforcing the relevance of integrating these approaches jointly.

The analysis also shows that most studies situated within science education didactics are model-based inquiry (MBI) projects that incorporate driving questions and are developed through the design of models and virtual simulations. In these contexts, computational thinking is primarily implemented through programming environments such as Scratch or Makecode.org, using block-based programming languages in which abstraction, decomposition, and algorithmic thinking—core elements of computational thinking—are actively applied (Aslan et al., 2024; Bocconi et al., 2016; Ortega-Ruipérez, 2020; Weintrop et al., 2016).

As such, this approach emerges as the most widely used and validated method in the scientific literature for developing and teaching computational thinking, while also equipping students with essential digital competencies. This need has been emphasized by researchers (Brande et al., 2016; Carretero et al., 2017; Gretter and Yadav, 2016; Nacaroğlu et al., 2025), educational organizations (ISTE, 2018; ISTE and CSTA, 2011; UNESCO, 2020, 2024), and the Spanish government itself through the National Plan for Digital Competences (PNCD, 2025) and the national curriculum (Organic Law 3/2020, of December 29), which identifies mastery of digital languages as one of the essential skills of the twenty-first century.

he results also show that most of the projects analysed share a common feature: they are structured within a context that places research at the centre and aligns with the principles of the STEAM educational approach, by bringing together science, programming, design, and the construction of digital tools and technological devices. Parallel to the findings presented in the compendium, there is ample evidence in the literature identifying and describing elements of computational thinking that support various curricular subjects across different countries at the secondary education level, including Mathematics, Language and Computer Science, Biology, and Physics (Zapata-Ros and Pérez-Paredes, 2018). These findings further reinforce the suitability of computational thinking within a STEAM framework.

Therefore, once the different approaches, models, and resources for its teaching have been defined, all these elements respond to Objective O.E.1.3, and collectively, they serve to delimit Objective O.E.1 and address Research Question P.1.

5.9 Design and Implementation of the Didactic Sequence and Joint Integration of Inquiry, Modeling, and Computational Thinking in a Controversial Heritage Context

Being established the theoretical foundations for integrating inquiry, modeling, and computational thinking into interdisciplinary proposals (Section 5.1), this section analyses the findings derived from the design and implementation of the interdisciplinary learning scenario developed around the Tinto River as a controversial heritage site (P.2), addressing the specific objectives O.E.2 and O.E.3, as well as their respective sub-goals.

In this regard, the implementation of the proposal made it possible to construct and articulate a didactic sequence that is both interdisciplinary and consistent with the conceptual frameworks developed in this doctoral dissertation. The design aligns with the findings presented in Publications 1, 2, and 3, corresponding to Phase 1 of the compendium, as well as with the findings of Publications 4, 5, 6, and 7.

In addition, this section offers an empirical evaluation of how the methodological integration contributed to students' acquisition of abstract scientific content. These results are presented and discussed across the following subsections:

5.9.1 Design and Development of the Didactic Sequence within a Learning Scenario

To address Objective O.E.2, the learning scenario titled "The Tinto River and Its Environment: Preserve or Restore?" was designed as part of this case study. The intended aims and specific features of its implementation, as documented in the corresponding book chapters, are structured around the contents and competencies developed in the three subjects in which the sequence was carried out (Biology and Geology: Publication 4, Physics and Chemistry: Publication 5, and Geography and History: Publication 6). In addition to being grounded in the theoretical and methodological frameworks presented throughout this doctoral dissertation, the sequence was also shaped by the knowledge and pedagogical stance of the classroom teacher, who played an active role in the design and implementation of this research project in a 4th year Secondary Education classroom.

The theoretical foundations that informed the design and construction of the activity sequence within this learning scenario are drawn from multiple domains. Firstly, the findings discussed in Section 5.1 (P.1, O.E.1, O.E.1.2, O.E.1.3) of this dissertation emphasize the value

of integrating these methodologies within a STEAM framework. They also highlight the importance of situating learning in meaningful contexts, as scientific practices benefit from a situated learning approach (Couso, 2014), one that should be established from the outset of the learning experience (Lupión-Cobos and García-Ruiz, 2024).

Accordingly, with the aim of fostering critical thinking (P21, 2009), and in light of the role of emotions in science education (Jiménez-Liso et al., 2023; Muñoz-Campos et al., 2020), as well as the opportunity to address contextually relevant socioscientific issues related to the origins of pollution in the nearby Tinto River, the decision was made to use controversy and debate as key strategies in citizenship education (Pagès, 2019). More specifically, the sequence was designed from the perspective of controversial heritage, which serves as a meaningful trigger for exploring ideological, social, political, cultural, economic, and environmental conflicts or dilemmas (Sampedro-Martín et al., 2022), all of which are relevant to a conception of science that remains connected to its social, historical, and technological implications (De Pro, 2012).

In relation to socioscientific issues, the proposal also drew on the framework for teaching controversial topics proposed by Pace (2021) (figure 22), which outlines several recommendations to support their instruction, such as the selection of authentic issues and the importance of acknowledging students' emotions. Similarly, the contributions of Puig et al. (2023) were highly influential in shaping the sequence, particularly their key principles for teaching socioscientific issues in science classrooms. These authors recommend articulating the development of critical thinking through inquiry, modeling, and argumentation methodologies, to foster scientific and systems thinking, enabling students to analyze phenomena, make predictions, and construct explanations that lead to critical action.

These pedagogical frameworks, together with the use of controversial heritage as a central theme to develop inquiry-based methodologies, are presented as a response to the challenges identified by Crawford (2007), namely the need to develop students' inquiry skills and to equip teachers with the tools to create meaningful inquiry-based learning environments. Likewise, the structure of this proposal aligns with the essential components for the design of didactic proposals presented by Blanco-López et al. (2018) (see Figure _), which serve as a foundational reference. These authors advocate for the integration of the three scientific practices to support students in making informed decisions regarding real-life problems and to promote the development of scientific competencies.

Secondly, with regard to the STEAM approach, this proposal is intentionally and rigorously developed through genuine interdisciplinarity. It integrates the contents and competencies of both the experimental sciences (Biology, Geology, Physics, and Chemistry) and the social sciences (Geography and History), along with technology (creation of collaborative web platforms, block-based programming, and the construction and use of sensors), engineering (design of a water channeling system within the model), the arts (creative design of the physical model and the production of a podcast), and mathematics (data analysis, logarithmic scales, and graphical representation). All of these dimensions are interconnected through model-based inquiry methodologies and computational thinking. In doing so, the proposal follows the lines of action for STEAM education proposed by Martín-Cudero et al. (2024) and responds to the perspective of Ozkan and Umdu-Topsakal (2021) and Toma and García-Carmona (2021), who argue that a true STEAM project must be integrative and go beyond isolated subjects to offer interdisciplinary proposals that address real-world phenomena.

Thirdly, the structuring of the different activities within the didactic sequence is aligned with the six phases of the inquiry cycle proposed by Jiménez-Liso (2020), which largely converge with the six phases of experiential learning design recommended by the Junta de Andalucía: Motivation, Activation, Exploration, Structuring, Application, and Conclusion (López-Lozano et al., 2022). In this sense, the didactic sequence was developed through guided inquiry, given that this format has been shown to improve students' attitudes toward science (Lazonder and Harmsen, 2016) and is most effective when carried out in contexts that are familiar to students. Such an approach helps learners to understand not only what science is, but also how it is constructed, and serves as an effective means to develop critical thinking (Bunterm et al., 2014; Jiménez-Liso, 2020).

Regarding the role of questions as the foundation of the inquiry-based approach, these were formulated and designed during the planning stage prior to implementation in the school. The central question to be addressed, "Preserve or restore?", was explored through a sequence of activities linked to three sub-questions, each corresponding to one of the three subjects discussed above and developed in Publications 4, 5, and 6. However, it is important to highlight that, during the activation phase, students were given the opportunity to formulate their own questions. This strategy aimed to encourage active participation in determining which aspects of the Tinto River and its surroundings would be investigated. The purpose was to motivate students and position them as protagonists of their own learning by ensuring that

the central problem could unfold into a set of subproblems that reflected their prior knowledge, interests, and abilities (Cañal, 2008). These student-generated questions were considered and subsequently channeled and refined to align with the three guiding research sub-questions presented in Publications 4, 5, and 6.

Lastly, the need to develop students' digital competencies required that the design of the didactic proposal be theoretically supported by models that integrate scientific practices with those of engineering, and that such practices be carried out within a real-world context. To this end, on the one hand, the "three-sphere model" for articulating scientific and engineering practices in the classroom was considered (Figure 10), as proposed by the National Research Council (NRC, 2012). This model emphasizes that processes of investigation and the development of explanations and solutions must be evaluated through critical and argumentative analysis stemming from those same processes.

On the other hand, the sequence of practices for K–12 students in science classrooms, also developed by the NRC (2012) (see Figure 3), was taken as a reference. This framework outlines a process that begins with the formulation of questions, followed by the use of models, investigation, data analysis, the application of mathematical and computational thinking, the construction of explanations and the design of solutions, argumentation based on evidence, and the evaluation and communication of information.

Accordingly, the design proposed in this didactic intervention meets the first part of Objective O.E.2, as it succeeds in developing a research sequence adapted to the secondary education level. The sequence is necessarily complex, meaningful, and socially relevant, ensuring that inquiry and modeling processes are articulated through a phenomenological context that provides them with educational significance (Caamaño, 2011).

This is consistent with authors such as Deák and Kumar (2024) and Soroko (2020), who stress that the integration of STEAM and digital tools in science education is essential for developing computational thinking and digital competence, thereby preparing students to face the challenges of the twenty-first century.

5.9.2 Implementation of the Proposal through Inquiry, Modeling, and Computational Thinking

Once the general framework of the didactic sequence was established, its implementation was carried out over a two-week period in a 4th-year Secondary Education

classroom at a school in Valverde del Camino. The process included a field trip to the headwaters of the Tinto River and to the town of Riotinto. The interdisciplinary learning scenario "The Tinto River and Its Environment: Preserve or Restore?" was implemented through a didactic sequence organized into six phases (see Figure 31), following the experiential learning model proposed by López-Lozano et al. (2022).

The implementation began with the Motivation phase, which included the projection of a specially designed video presentation to introduce the project to the students. This initial step made it possible to engage and motivate the students by connecting them with the Tinto River and its surrounding environment, thus initiating one of the early stages of the inquiry cycle (Jiménez-Liso, 2020).

Next, the Activation phase was carried out, focusing on the exploration of students' prior ideas. This phase included the administration of questionnaires to identify students' alternative conceptions, which would later be considered for formative assessment purposes. This approach aligns with STEAM instructional practices (see Table 13) (Thibaut et al., 2018). Furthermore, this phase created opportunities for students to formulate authentic research questions (Cañal, 2008), such as “Why is the water red?” or “What happens if we put our hand in the river?”, as recommended in studies on inquiry based on authentic questions (Galileo Educational Network, n.d.; Pedaste et al., 2015). These questions enabled the identification of the controversial dimensions of the river as both a natural and scientific heritage site.

During the Exploration phase, from the outset, students were engaged in the use of a digital research journal through the creation of collaborative blogs. These served to organize student productions and functioned as tools to foster creativity and digital competence (Brande et al., 2016), in alignment with Level 10 of digital content creation (table 9) as defined in the National Plan for Digital Competences (PNCD, 2025). This practice also followed the recommendations put forth by Gretter and Yadav (2016) and UNESCO (2024) regarding the importance of integrating collaborative technologies into learning environments.

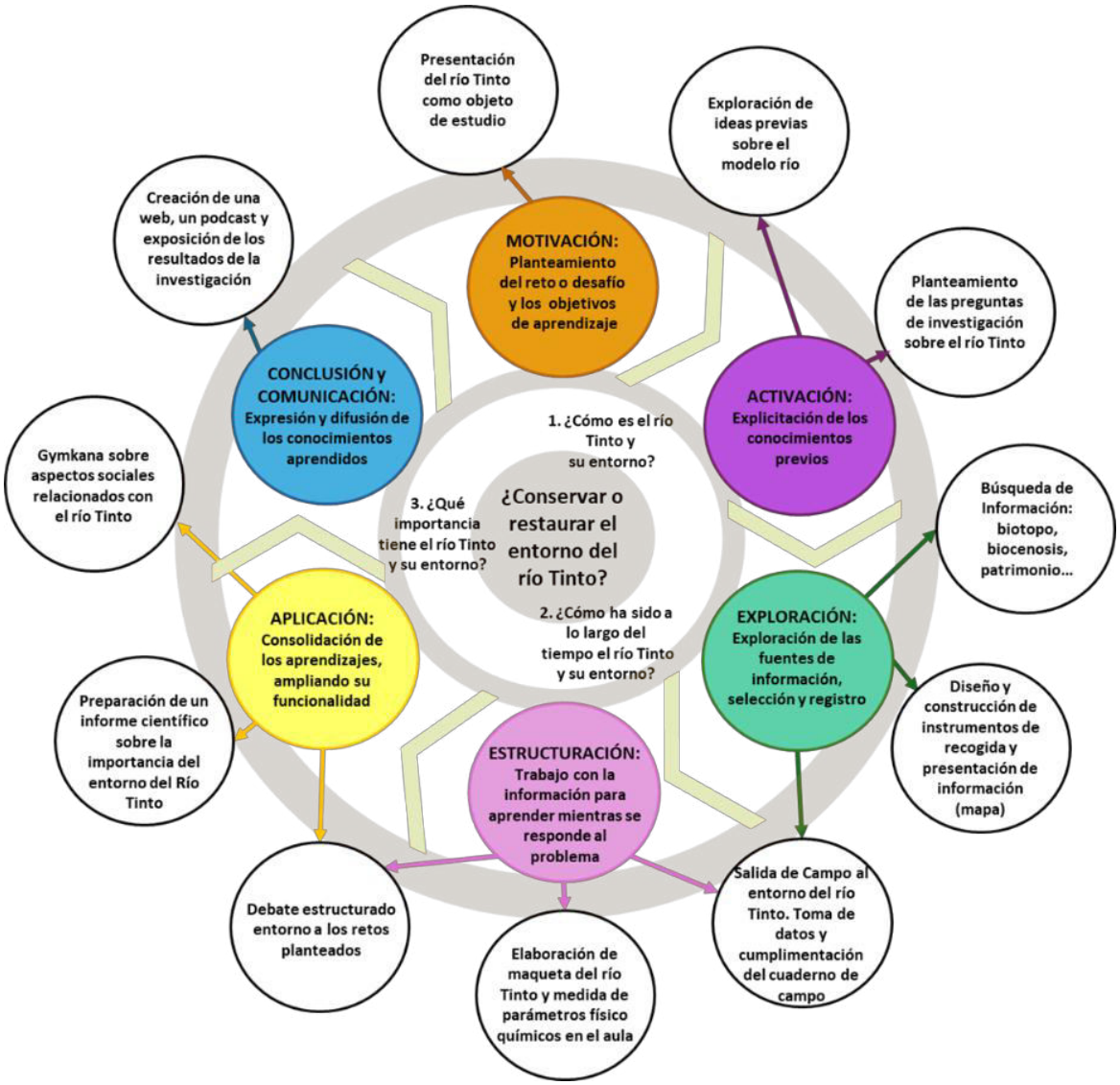


Figure 31. Didactic sequence of the project "The Tinto River and Its Environment: Preserve or Restore?". Author's own work

During the Exploration phase, additional tools such as Google Maps were used to capture aerial images of the river, enabling the study of changes along its course, particularly those related to channel morphology, biotope and biocenosis dynamics, and the overall characterization of its ecosystem type. In this regard, Koundouri et al. (2017) emphasize that the functioning of river ecosystems provides numerous benefits to humans and holds cultural value as an educational tool. Based on the findings of the compendium, the relevance of the Tinto River and its surroundings as a central theme is reaffirmed. Human activities such as industrialization, land-use changes, urbanization, water resource extraction, and the alteration of river courses exert direct impacts on river habitats, geomorphology, water chemistry, and biological communities (Allan et al., 2021), positioning rivers among the most threatened ecosystems worldwide and making their conservation, restoration, or sustainable

management an urgent necessity (Díez López et al., 2024). These concerns are aligned with the central research question posed to students in this study. In addition to the work presented in Publications 4, 5, and 6, the findings in Publication 11 support the idea that the Tinto River serves as a rich context for addressing curricular content and competencies across various secondary education subjects.

Regarding the development of digital competence, in addition to the creation of collaborative web environments, students designed and built tools for collecting and presenting information using Micro:Bit control boards and sensors. These instruments were used in situ during the aforementioned field trip to measure key physicochemical parameters relevant to the characterization of a river ecosystem, including pH, temperature, turbidity, and total dissolved solids. These variables directly influence the unique conditions of the river and the extremophile lifeforms that inhabit its waters and surrounding environment. This strategy, grounded in fieldwork and inquiry, responds to the recommendations of Lazonder and Harmsen (2016) for promoting authentic and lasting learning experiences.

Through this process, students analyzed and interpreted the data using graphical representation tools and engaged in deeper examination of the scientific controversy surrounding various research perspectives on the Tinto River. This integration of argumentation and critical thinking practices is essential for contemporary scientific literacy (Puig et al., 2023). In doing so, students addressed Physics and Chemistry curricular content (Publication 5), while simultaneously exploring the biological and geological features of the Tinto River (Publication 4), and taking note of the cultural, social, and historical dimensions that have shaped the region (Publication 6).

After data collection, during the Structuring phase, students were tasked with collaboratively building a physical model of the river, following the principles of scientific modeling. The model, co-designed and co-constructed by the students, represented the headwaters of the Tinto River and was aimed at understanding the mixing of waters with different pH levels occurring in the area. Its design facilitated interdisciplinarity by integrating elements from the visual arts to recreate geomorphological features and endemic vegetation, as well as engineering design to construct a water channeling system. This infrastructure enabled the use of the sensors previously programmed in the classroom to help students understand, predict, and communicate evidence-based phenomena (NGSS, 2013; Oliva, 2021; Schwarz et al., 2009).

The Application phase was implemented through a structured debate organized around different thematic blocks and two opposing viewpoints: "restorers" and "conservers." The debate was designed following the recommendations of authors such as Zeidler (2014), who propose fostering critical analysis of open and controversial problems, encouraging discussion on socially relevant scientific issues, incorporating moral reasoning in the handling of ethical dilemmas, and viewing character education as a long-term educational goal. In this sense, addressing controversial topics in the classroom is essential to moving beyond the rote memorization of facts. It supports students in formulating questions, awakening their curiosity through inquiry, and developing the ability to debate, reach consensus, and propose evidence-based solutions (Estepa and Delgado-Algarra, 2021).

The application phase continued with the finalization of data collection and responses to guiding questions and structured activities within the students' collaborative web platforms, aimed at consolidating learning. It also included the organization of a scavenger hunt (gymkana) focusing on historical and social aspects related to the Tinto River and its surroundings (ANNEX 6), allowing students to deepen their understanding of Geography and History content, such as the origins of the Industrial Revolution in southern Spain, the development of various productive sectors, and the social inequalities of the period.

Finally, the Conclusion and Communication phase was carried out with the goal of expressing and disseminating the knowledge acquired. The final products included not only the collaborative web space but also a group presentation delivered at the University of Huelva, where students shared the results of their research, as well as the production of a podcast (Annex 7) reflecting on what they had learned and developed over the two weeks of the project. These practices are aligned with recommendations for science education aimed at the development of key competencies (Blanco-López et al., 2018). In this regard, communication, along with critical thinking, creativity, and collaboration, emerges as one of the essential skills for successfully facing the challenges of contemporary citizenship (Jayakumar, 2009; P21, 2009), and is also recognized as a core component of inquiry (National Science Education Standards, 1996).

Once the rationale and justification for its design and implementation were established, Objective O.E.2 was completed through the analysis of a learning scenario that allowed students to critically examine the context, design research tools, explore the environment, and develop evidence-based interpretations for the analysis of heritage (Fernández-Santín and Feliu-Torruella, 2020). The organization of the activities and the

methodologies applied consistently promoted cooperative work and active learning through practical inquiry and shared reflection.

With regard to Objective O.E.2.1, a category table was developed and detailed in the book chapters corresponding to Publications 4, 5, and 6. This table has been completed within the framework of this dissertation and is available for consultation in Annex _. Furthermore, this evaluative instrument was designed and implemented taking into account other emerging categories defined in the theoretical framework of the thesis, such as digital competence based on the ISTE standards for students (ISTE, 2018), digital competence developed through computational thinking (Ortega-Ruipérez, 2020), argumentative development (Toulmin, 2003), and critical thinking based on its core skills (Facione, 2007). The last two aspects have taken on particular significance in this thesis, as digital competence serves as a foundation that strengthens critical thinking by facilitating information management and informed decision-making (Bolo-Romero et al., 2023).

5.9.3 Computational Thinking, Inquiry, and Modeling for the Understanding of Abstract Scientific Concepts

Another major objective of this dissertation is the joint integration of inquiry-based methodologies, modeling, and problem-solving processes, specifically computational thinking. In this subsection, we address Objective O.E.3 by analyzing and drawing conclusions, based on an illustrative example, from Publications 5, 7, and 9, which validate the relevance and suitability of these three methodologies when used in an integrated manner. This analysis focuses on how their convergence can support the understanding of intellectually complex and abstract scientific content, such as the concept of pH and its logarithmic scale.

The selection of this content was not arbitrary. Several studies have shown that, despite being commonly addressed in classrooms and appearing in everyday contexts, concepts such as pH, acidity, and neutralization continue to present significant difficulties for secondary school students (Kala et al., 2013; Lin and Chiu, 2007; Jiménez-Liso et al., 2000; López-Banet et al., 2021; Pan and Henriques, 2015; Sheppard, 2006). Among the most common misconceptions are: interpreting the logarithmic pH scale linearly, believing that a pH of 0 represents neutrality, associating high pH values with greater acidity, and assuming that all neutralization reactions yield neutral solutions, while also reducing the notion of acidity to a purely corrosive property.

Prompted by student-generated questions such as “Why is the water red?”, “Can we change its characteristics?”, or “What happens if we put our hand in the river?”, an inquiry process was initiated (see Figure 32). Through this process, students engaged in problematization and, guided by relevant questions (Furman and Podestá, 2009; Pedaste et al., 2019), articulated their ideas and hypotheses.

The process continued with a search for information about which physicochemical parameters are necessary to characterize a river, how these parameters are measured, what they indicate, and whether students could design and build their own data collection instruments. This line of inquiry responded to the need not only for students to acquire scientific knowledge, but also to develop the ability to program and design tools in accordance with current demands for scientific literacy and digital competence (DIMACS, n.d.; ISTE, 2018; PNCD, 2025). With support from the teacher, the class was introduced to Micro:bit boards and sensors, and basic concepts related to their operation were explained and taught in the classroom.

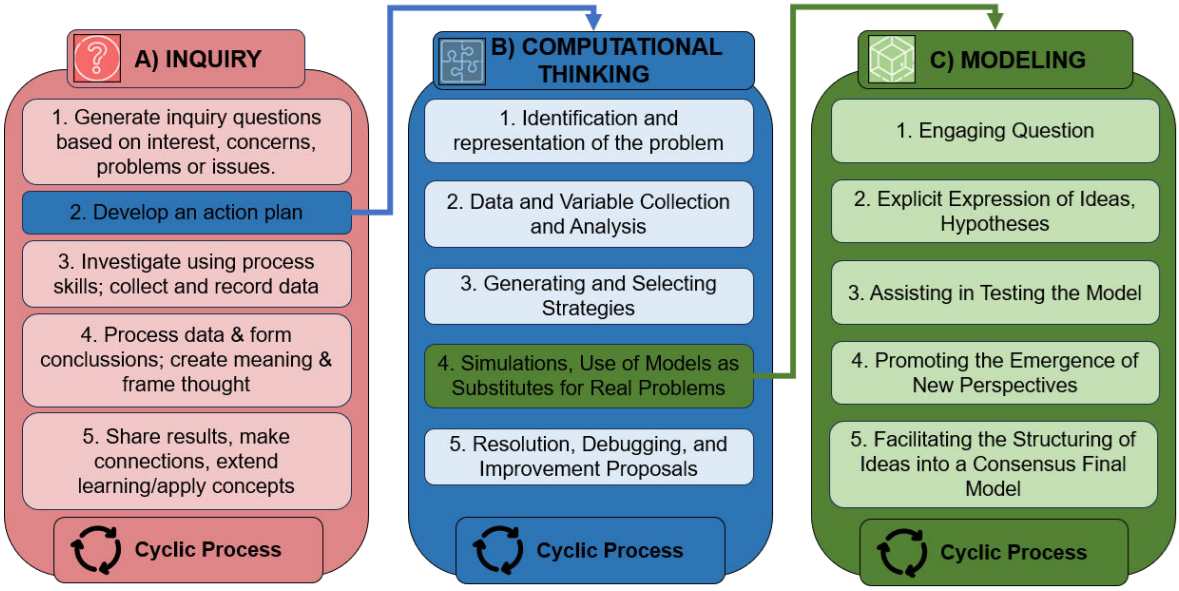


Figure 32. Diagram illustrating the interconnection between the cycles of inquiry, computational thinking, and modeling. Author’s own work

From this point onward, the computational thinking cycle, developed in Publication 2 of the thesis compendium, was introduced. Through an introductory class on block-based programming using Makecode.org, students quickly and effectively learned the fundamentals of algorithmic and procedural logic (Bocconi et al., 2016; Weintrop et al., 2016). They used this knowledge to program sensors measuring turbidity, temperature, total dissolved solids, and pH. For the latter, they even learned how to calibrate the sensor, which significantly enhanced

their understanding of the pH concept and its associated scale. Moreover, they practiced abstraction by associating numerical ranges with three potential categories: acidic, neutral, or basic.

It is worth noting that, due to limited available time, students were provided with the programming blocks in a disordered sequence and without the mathematical calculations or conditionals completed. This design strategy was intended to foster the development of algorithmic, logical, and mathematical thinking as part of their broader acquisition of computational thinking skills.

The field trip proved to be an enriching experience, as it enabled students to use data collection tools they had built and programmed themselves. These tools were used to gather real-time data, which students recorded in their field notebooks. This activity allowed them to engage with content from Biology and Geology and Physics and Chemistry in a real-world context, giving deeper meaning to the disciplinary knowledge.

After observing the initial mixing of waters between the Tinto River's main channel, measuring a pH of approximately 4.6, and a first tributary originating from a mining dump, measuring a pH of around 2.2, many students hypothesized that the resulting mixture would have a pH of about 3.4. This assumption revealed a conceptual misunderstanding, as students failed to recognize that pH values follow a logarithmic rather than a linear scale. This prompted the decision to take additional samples from the main channel and the first two tributaries.

At this point, it became necessary to construct a model to represent what was occurring in the real context, thereby initiating the modeling cycle (Couso, 2020), understood as the process of constructing explanatory representations that help in understanding scientific phenomena (Oh and Oh, 2011, Schwarz et al., 2009). In this way, the decision was made to build a physical model (see Figure 33), and students began by sketching a preliminary design on paper, using an aerial photograph of the area for reference. With the support of the teacher, students discussed and agreed on the materials that would be used to construct the model, and how to effectively channel the collected water samples within it to conduct measurements without causing overflow or damaging the structure.

Once the final model design was reviewed and agreed upon, it was implemented. Students then conducted investigations using the model, analyzing how pH levels varied as they added different volumes of water samples with controlled pH values.



Figure 33. Photograph of one of the models designed and collaboratively created by a group of students, showing bottles with samples collected during the field trip, pH test strips, and a pH sensor built and programmed by the students. Author's own work.

Once the modeling cycle had been completed, students returned to the inquiry cycle. With the data they had collected and recorded, they transformed this information into evidence that allowed them to answer the questions initially posed. They drew conclusions and communicated them through oral presentations, podcast recordings, and well-reasoned arguments presented in the structured classroom debates.

Based on the findings from Publications 7, 9, and 11, it can be argued that there was a highly significant improvement in students' understanding of the concepts of pH, pOH, and alkalinity, as well as of the logarithmic nature of the pH scale. These three methodological approaches, modeling, inquiry, and computational thinking, can be articulated synergistically to foster a deeper understanding of scientific phenomena, promote the capacity to generate scientific products (Couso, 2020), and support the development of critical thinking and the ability to apply knowledge in new situations.

The convergence of these three methodologies clearly demonstrated that students not only developed a more accurate conceptualization of pH, but also successfully transferred the skills acquired to new contexts, such as the analysis of extreme environments and the discussion of the scientific controversy surrounding the origin of the river's red coloration

(Amils, 2012, Nieto and Olías, 2021, Olías and Nieto, 2014). This outcome represents the successful achievement of Objective O.E.3.

Such knowledge transfer, made possible through programming environments, fostered meaningful and engaging learning for students (Paucar-Curasma et al., 2023), and aligned with the goals of science education focused on solving real-world problems and encouraging collaborative work (Lee et al., 2021, NRC, 2012, Zamorano et al., 2018). It also supported educational activities related to communication and scientific dissemination, such as the creation and participation in the III National School Podcast Competition, as described in Annex VII.

5.10 Development of Computational Thinking and Digital Competence

In relation to Research Question 4 and Objectives O.E.4 and O.E.5, this section analyses the implemented teaching sequence, which reveals a significant acquisition of digital competences and skills associated with computational thinking (CT) among students. The results presented in Publication 9 suggest that the programming of pH sensors using Micro:bit boards, within an interdisciplinary STEAM and heritage-based context, fostered an active and meaningful engagement with scientific concepts, digital literacy, and computational literacy.

Regarding the development of computational thinking skills, the applied cycle was based on the processes of decomposition, pattern recognition, abstraction, and algorithm design, following the model outlined in Publication 2 of the compendium and supported by various authors and organizations (Bocconi et al., 2016, DIMACS, n.d., Ortega-Ruipérez, 2020). This structured approach enabled students to address real-world problems through technological strategies, thereby developing a deeper understanding of natural phenomena from an algorithmic and systematic perspective.

In terms of digital competence, programming through MakeCode contributed to the acquisition of skills in visual programming, sensor integration, and data representation and analysis, facilitating access to educational coding even for students with no prior experience. According to Kieu et al. (2023), this approach fosters logical thinking, creativity, and meaningful learning.

The reference framework used to assess the development of digital competence and computational thinking was twofold. On the one hand, the ISTE Standards (International

Society for Technology in Education, 2018) were adopted, and on the other, the Spanish National Framework for Digital Competence in Education (PNCD 2025) was considered. According to the data triangulation conducted in Publication 9 (pretest, debate, and analysis of student productions), students demonstrated evidence of progress across the six ISTE standards:

- Empowered Learner: Students assumed an active role in their learning, setting programming and experimentation goals, and demonstrating proficiency in the use of educational technology.
- Digital Citizen: Ethical use of the data collected was addressed in line with scientific practice, including repeated measurements to establish averages.
- Knowledge Constructor: Students searched for information, analysed pH data, and constructed new knowledge linked to the environmental reality of the Tinto River.
- Innovative Designer: They designed and programmed original solutions for measuring and visualising pH data.
- Computational Thinker: They applied problem-solving strategies based on data analysis and the creation of simple algorithms.
- Creative Communicator: Students communicated their results creatively through graphs, presentations, and debates.

Complementing the contributions of the compendium, an additional analysis was conducted using the PNCD (2025), allowing the identification of different areas of digital competence:

- Area 1: Information and Digital Literacy: This involved the search, critical evaluation, and processing of environmental data obtained through sensors.
- Area 2: Digital Communication and Collaboration: Students collected and shared results in digital environments and engaged in discussions about the data during classroom debates.
- Area 3: Digital Content Creation: They designed and created collaborative web spaces, programmed algorithms for sensor development and use, and generated graphic representations.
- Area 5: Problem Solving: They applied technological solutions through sensor use and adapted programming to meet the requirements of the research process.

About the teaching sequence, it can be concluded that it supported the development of skills related to critical scientific literacy (Hodson, 2011, Guerrero and Torres-Olave, 2022), by integrating the ability to interpret data, make informed decisions, and reflect on the ethical and socio-environmental implications of using technology in real-world contexts. In this sense, the relevance of critical digital literacy is reaffirmed, as it is essential for educating citizens capable of addressing technological and environmental challenges responsibly (OECD, 2023).

In relation to the specific objectives outlined (O.E.4 and O.E.5), the results suggest that the design of meaningful tasks based on sensor programming within a contextualised learning situation not only promotes the understanding of computational thinking as a problem-solving tool, but also has a positive impact on the acquisition of digital competences integrated into students' scientific literacy.

5.11 Academic Emotions: Engagement and Learning

In response to Research Question 5, and addressing Objectives O.E.6.1, O.E.6.2, and O.E.6.3, this section presents the emotional analysis of the implementation of the interdisciplinary teaching sequence, which was based on active methodologies, the use of technologies, and work around a controversial heritage. The results were obtained from emotional questionnaires related to the Río Tinto experience, completed after the full implementation of the sequence (see Annex III), as well as from the emotional reflections recorded in a dedicated section of students' field notebooks. These emotions were linked to the domains established in the questionnaire.

The implemented practice elicited a wide range of academic emotions among students, which were categorised and analysed in Publication 10. From an approach that recognises the central role of emotions in cognitive and motivational processes (Pekrun, 2006, Linnenbrink-García and Pekrun, 2011), the analysis revealed the emergence of epistemic, achievement, thematic, and social emotions, with their presence and predominance varying according to the type of activity conducted. The study of academic emotions was fundamental to understanding the students' engagement, as well as the strengths and limitations underlying the emotional responses. It also confirmed that these emotions can act either as catalysts or inhibitors of academic engagement and performance (Linnenbrink-García and Pekrun, 2011, Jiménez-Liso et al., 2021), and therefore must be considered when designing proposals or activities in science classrooms.

Consistent with previous research such as that of Wang et al. (2024), the findings reported in Publication 10 of the compendium show that the implementation of active methodologies, particularly inquiry and modelling in STEAM contexts, encourages the emergence of significant epistemic emotions such as curiosity and surprise, as well as achievement emotions such as pride and enjoyment. This aligns with the notion that authentic STEAM proposals foster meaningful emotional engagement (García-Carmona, 2022). Emotions such as pride and enjoyment emerged particularly when students felt a high degree of control over the tasks and attributed value to the activities undertaken, in accordance with the principles of the Control-Value Theory (Pekrun, 2006, Pekrun and Linnenbrink-García, 2012).

However, unlike the findings reported by Wang et al. (2024), the present study identified a weaker connection between the use of technologies, such as sensors and programmable boards, and the conceptual content related to heritage and natural sciences. This disconnection limited the emergence of thematic emotions, which in other studies are closely linked to a critical understanding of the content addressed. Therefore, the need to design teaching sequences that more effectively integrate practical skills with the conceptual dimension is highlighted, so that both cognitive and emotional learning are strengthened (Martínez-Borreguero et al., 2019, Jiménez-Liso et al., 2021).

During data collection activities and fieldwork, emotions such as curiosity, enjoyment and surprise emerged most prominently, closely linked to the discovery of real-world phenomena. These emotions, which support deep learning strategies and foster analytical and creative thinking (Pekrun, 2006; Jiménez-Liso et al., 2021), were facilitated by the autonomy afforded in handling technologies, the novelty of the devices used and the direct connection with actual phenomena in the nearby environment. Previous research highlights that practices based on inquiry and active experimentation naturally promote epistemic emotions, as they place students in exploratory scenarios where they construct meaning and experience unexpected discoveries (Loderer et al., 2020; Jiménez-Liso et al., 2021). This relationship was confirmed through qualitative records, where expressions of surprise, admiration and critical reflection revealed high emotional and cognitive engagement with the exploratory activities, thus successfully addressing Objective O.E.6.1.

With regard to the activities involving the programming, construction and use of sensors, in addition to achievement-related emotions such as pride and enjoyment, linked to overcoming technical challenges, negative emotions such as frustration and anxiety also

emerged. These emotions reflected stress associated with time constraints during the programming and construction of data-capturing tools using sensors and Micro:bit boards. They were also related to persistent technical difficulties and students' perceived inability to resolve technological errors. As emphasised by Loderer et al. (2020) and Martínez-Borreguero et al. (2019), such emotions, rather than being an obstacle, can serve as opportunities to develop emotional resilience and self-regulation in educational settings involving technology. The theoretical framework supports the idea that technological activities based on programming and sensor use, which demand instrumental control and problem-solving, promote epistemic emotions such as curiosity and satisfaction derived from discovery (Jiménez-Liso et al., 2021; Loderer et al., 2020). The results show that, after overcoming initial difficulties, frustration turned into satisfaction and pride, reinforcing students' self-confidence in using electronic devices. Furthermore, in terms of emotional distribution, technological activities primarily elicited epistemic emotions (48.7%), followed by achievement emotions (32.5%), social emotions (14.5%), and to a lesser extent, thematic emotions (4.3%). These findings confirm that technical challenges promoted emotions related to discovery, personal growth and collaboration in problem-solving, thus fulfilling Objective O.E.6.2.

Finally, regarding the emotions elicited by work on the controversial heritage of the Río Tinto and its surrounding area, thematic emotions predominated overwhelmingly (83%), accompanied to a lesser extent by epistemic emotions (11%), social emotions (3%) and achievement emotions (3%). The analysis revealed positive emotions such as admiration, enjoyment and curiosity toward the region's historical and natural richness, but also negative emotions such as disgust and anger, which arose from critical reflections on environmental impact and social issues related to class inequalities stemming from the exploitation of the local population by British companies, as well as gender role disparities of the time. These findings underscore the emotional engagement elicited by controversial heritage in students (Estepa and Martín-Cáceres, 2018; Gómez-Villar and Canessa-Vicencio, 2019). These emotions promoted critical thinking and ethical awareness, as evidenced in Publication 10 and in Section 5.5 of this chapter. This ethical and critical engagement consolidates the link between content learning and the development of active social consciousness, as also suggested by Sadler et al. (2007). These results are likewise consistent with studies that argue that heritage-related debates mobilise intense emotions by confronting students with moral dilemmas and the need to critically assess the past (Estepa and Martín-Cáceres, 2018),

aligning with the findings presented here, which position controversial heritage as a powerful generator of emotional conflict and ethical dilemmas, thus stimulating processes of collective critical reflection. These outcomes demonstrate fulfilment of Objective O.E.6.3.

To conclude this section, the analysis of academic emotions supports the argument presented in this doctoral dissertation that such emotions do not emerge in a homogeneous way. Instead, they are modulated by factors such as the nature of the task, the learning context, the perception of control and value, and the connection to social and cultural realities. The educational proposal analysed here elicited a wide variety of emotions, among which the following stand out: epistemic emotions, mainly fostered through inquiry processes and related to the central topic of interest and the use of sensors; achievement emotions, primarily linked to overcoming technological challenges and students' perceived self-efficacy; thematic emotions, triggered by the ethical and historical analysis of controversial heritage; and social emotions, emerging from collaborative work and empathetic responses to narratives of injustice, oppression and environmental degradation, facilitated by the critical heritage approach and the project's historical and social contextualisation.

Therefore, based on the results obtained, it is concluded that in order to foster emotionally meaningful learning in STEAM contexts, it is necessary to design tasks that explicitly connect practical, conceptual and ethical dimensions. In addition, it is essential to ensure appropriate margins for autonomy, time and guidance, highlighting the need to operationalise and plan the teacher's role as a facilitator. Finally, this study suggests the importance of integrating controversial heritage topics that hold personal or social significance, to activate dilemmas and encourage students to take a stance on the management of such heritage. A strong identity connection with the heritage in question may elicit emotions that allow students to engage more deeply with the issue and become active participants and agents of change. This is particularly relevant to the goal of educating more critically aware and socially engaged citizens who are committed to addressing the pressing challenges that affect their communities (Puig et al., 2023).

5.12 Critical Thinking and Argumentation in STEAM Contexts through a Heritage Controversy

To address Research Question 6, this section presents a detailed analysis of how students' critical thinking manifested following the implementation of the learning sequence, as well as the methodology used to evaluate it, based on the results provided in Publication

11 of the compendium. The proposal was structured around a case study focused on the controversial heritage of the Río Tinto, employing a combined analytical strategy based on Toulmin's argumentation pattern (1958) and the critical thinking skills described by Facione (1990). For this purpose, a hybrid instrument, the TAP-Facione, was developed, which enabled the categorisation of results at two key moments: the initial questionnaire and the final debate.

The initial questionnaire provided a baseline of the students' argumentative level, which was characterized by simple claims, scarce data, weakly structured backing, and an absence of more complex components of the model, such as qualifiers or rebuttals. Following the implementation of the learning sequence, a significant improvement was observed during the final debate, both in the diversity and quality of the argumentative components. Advanced elements emerged, including qualifiers and rebuttals, which are considered indicators of higher-order critical thinking skills (Sadler, 2007).

According to the findings reported in Publication 11, this evolution was particularly evident in the thematic blocks of biodiversity, pollution, and restoration versus conservation. The biodiversity block showed the highest level of argumentative complexity. Students formulated well-founded claims supported by scientific data regarding the adaptation of endemic species to the river's physicochemical conditions. Moreover, this block featured the highest number of rebuttals and qualifiers, demonstrating a deep critical reflection on the implications of intervening in, or preserving, the ecosystem. This is aligned with the perspective of Estepa and Martín-Cáceres (2018), who argue that controversial heritage sites serve as powerful stimuli for ethical and scientific debate.

In the pollution block, students made notable progress in analyzing causal relationships between historical mining activities and the river's current environmental status. Although the level of sophistication was slightly lower than in the biodiversity block, improvements were observed in the quality of warrants and backing used, moving beyond the initial responses that merely reflected general perceptions about water "pollution." In the restoration versus conservation block, students articulated reasoning processes that considered the consequences of various human actions on natural heritage. They integrated ethical judgments and scientific assessments, a complex form of reasoning that Blanco-López et al. (2018) and Lupión-Cobos et al. (2024) associate with inquiry-based STEAM projects.

From the perspective of the critical thinking skills assessed through the TAP-Facione instrument, interpretation and inference emerged as the most developed abilities after the

intervention. These skills were especially prominent in the biodiversity and restoration versus conservation blocks. Analytical ability also experienced significant growth, as demonstrated by the students' capacity to relate water chemistry data to its impact on living organisms. Although skills such as evaluation and self-regulation showed more initial signs of development, their presence in student reasoning indicates that learners began to adopt more reflective stances, considering multiple perspectives before forming conclusions, as emphasized by Facione (1990) and the OECD (2015).

Furthermore, the results reveal not only the development of argumentative and critical thinking levels but also a substantial improvement in the conceptual understanding achieved across the three disciplinary domains involved Biology and Geology, Physics and Chemistry, and Geography and History. In accordance with González et al. (2018) and Ogegbo and Ramnarain (2022), experimental practices, sensor programming, and data collection within the local context proved to be effective strategies for fostering critical thinking. At the same time, these practices provided tangible evidence that enabled students to support, refute, or nuance their arguments, thereby strengthening their scientific literacy. Particularly noteworthy was the emergence of critical thinking skills that had not been present in the initial questionnaire, such as explanation and self-regulation. The latter is especially important for the development of mature critical thinking and the formation of scientifically literate and engaged citizens (Tippett et al., 2019).

Similarly, the results highlight that student demonstrated an awareness and identification of the problem, frequently engaging in self-questioning of their own assertions. In this regard, the presence of highly developed critical thinking skills became evident, alongside a strong commitment to the issue, a capacity to envision a future without the problem, and experiences of critical action. These elements are consistent with studies that emphasize the need for students to assume the role of change agents (Puig et al., 2023). In this way, the achievement of Objective O.E.7 would be completed.

5.13 Educational limitations and future projections

The implementation of the methodological proposal, based on the integration of inquiry, modeling, and computational thinking within a patrimonial controversy, revealed several limitations and challenges, as well as relevant educational projections. These findings offer insights into the potential transfer of the proposal to other teaching contexts, thus addressing Objective O.E.7.

Among the main emerging tensions was time management, a difficulty already identified as common in the practical implementation of active methodologies (Couso, 2014; Jiménez-Liso, 2020). The incorporation of experimental practices, device programming, and field data collection demanded execution times longer than initially planned. This led to certain mismatches in the pacing of the inquiry and modeling phases. Such tension, typical in proposals grounded in active investigation (Bunterm et al., 2014; Lazonder and Harmsen, 2016), reinforces the need to design flexible teaching sequences that allow sufficient space for genuine inquiry and reasoned reflection.

One of the main limitations in this regard was the inability to collect the students' productions and coding scripts, which would have been essential to evaluate the development of critical thinking based on the level of sophistication of its fundamental elements, following the framework proposed by Ortega-Ruipérez (2020). This framework is reflected in the category table developed for this dissertation and included in Annex.

At the emotional level, students' engagement with ethical, social, and environmental dilemmas related to the Río Tinto provoked intense emotions such as indignation, disgust, and compassion. This confirms the need to implement strategies for emotional regulation in the classroom (Loderer et al., 2020; Pace, 2021). As highlighted by Gómez-Villar and Canessa-Vicencio (2019), addressing controversial content inevitably involves an emotional dimension that must be channeled to foster critical reflection rather than polarization.

In line with the assertions of Pekrun and Linnenbrink-García (2014), who argue that the study of emotions requires a multimethod paradigm, researchers such as Ritchie et al. (2016) have developed various methods for identifying emotions experienced by both teachers and students. These include qualitative analyses of video and audio data, allowing for more detailed micro-analyses of critical events that arise in educational settings (Bellocchi et al., 2014). In this regard, it is considered pertinent for future research to take into account not only the transcription of what is said, but also the interpretation of how it is said, in order to more accurately delineate the emotions that emerge in science classrooms.

In relation to the specific challenges encountered, initial differences in students' digital competencies were observed, particularly in relation to working within digital collaborative environments. However, adaptation was relatively smooth. This represented an initial challenge for both teachers and students, highlighting the importance of addressing individual learners' needs through personalized support. It also reinforces the need to

establish prior scaffolding and differentiated instruction strategies during the design phase (Jiménez-Liso, 2020) to prevent such difficulties. In this sense, it is considered beneficial for this type of approach to be implemented in collaboration with the technology or computer science subject or teacher, especially in relation to learning programming or constructing technological devices and instruments, including physical models or simulations in virtual environments.

Likewise, it is considered highly relevant that such sequences be incorporated into teacher education programs to continue validating and improving these types of proposals. This would support a coherent implementation of approaches that are considered valuable for developing the essential competencies required by today's citizens.

La necesidad de desarrollar habilidades críticas avanzadas como la explicación y, especialmente, la autorregulación fue otra dificultad notable. Aunque ambas habilidades emergieron durante la secuencia, su manifestación aún se encontraba en niveles incipientes, reafirmando las advertencias de Tippett et al. (2019) sobre la dificultad de alcanzar una alfabetización científica plena sin procesos de autorregulación explícitos y sostenidos. A pesar de que el modelo de argumentación de Toulmin es en gran medida una herramienta de análisis, autores como Erduran et al. (2004) o Pertiwi et al. (2023) defienden que un correcto desarrollo argumentativo requiere la enseñanza explícita del modelo de Toulmin. Esto permitiría guiar y facilitar al alumnado poder alcanzar la formación de argumentos más complejos. En este sentido, se sugiere como positivo que pueda considerarse en futuros estudios que este modelo pueda enseñarse previamente en el preparatorio de los debates sobre temáticas controvertidas.

Among the achievements reached, one of the most significant was the effective articulation of inquiry, modeling, and computational thinking within a real interdisciplinary STEAM context, promoting deep and transferable learning processes. The sequence enabled students not only to improve their understanding of complex scientific phenomena, such as pH and its logarithmic scale (Kala et al., 2013; López-Banet et al., 2021), but also to acquire critical thinking and scientific literacy skills that are essential for the twenty-first century (OECD, 2023; UNESCO, 2024). Furthermore, the experimental work involving data collection, model construction, and sensor programming acted as levers to strengthen evidence-based argumentation, in line with the positions of Windschitl et al. (2008) and Blanco-López et al. (2018), who emphasize the importance of authentic practices in real and meaningful contexts for the development of critical competences.

Regarding the educational projection, the results make it possible to identify key conditions for the successful transfer of this type of proposal to other contexts or areas of interest. Contextualizing research in controversial socioscientific issues articulated through controversial heritage is considered essential, as it fosters a sense of identity and belonging that triggers internal conflicts and emotional responses requiring management. Moreover, there is a clear need for specific teacher training in inquiry-based learning, modeling, and computational thinking methodologies, in line with the recommendations of Bocconi et al. (2016) and Ortega-Ruipérez (2020), as well as for the development of STEAM-oriented approaches (Lupión-Cobos and García-Ruiz, 2024; Toma and García-Carmona, 2021c).

In connection with these future directions, this thesis has already generated outputs related to transferability. One such example is a comic presented at the 2024 edition of the European Researchers' Night, illustrating how to foster computational thinking through unplugged strategies (see annex _). Furthermore, this work has resulted in a paper presented at the international conference "31 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales", where part of the proposal was adapted and implemented with students enrolled in the Primary Education Degree (Campina-López et al., 2024).

Another key aspect is the importance of ensuring access to adequate technological resources, which includes not only the availability of equipment but also sufficient time for planning and meaningful integration into teaching practice. While most of the electronic devices used were low-cost, some were high-cost professional-grade sensors, which made it necessary to omit or find alternative ways to analyze certain physicochemical parameters. At the same time, it is important to emphasize that the development of computational thinking, although effectively supported by technology, does not depend on it (Zapata-Ros and Pérez-Paredes, 2019). It can also be fostered by applying it to inquiry and modeling processes as a strategy to facilitate and streamline problem-solving.

Equally essential is the design of learning situations that are flexible, context-based, and oriented toward real-world problems, as suggested by Puig et al. (2023) and Martín-Cudero et al. (2024) for the implementation of authentic STEAM approaches. Finally, the emotional dimension must be explicitly considered by implementing emotional support and containment strategies during the exploration of controversial topics, as emphasized by Estepa and Martín-Cáceres (2018).

Taken together, the findings support the idea that interdisciplinary work on controversial heritage, structured through inquiry, modeling, and computational thinking within a STEAM framework, not only enriches students' scientific and technical learning, but also fosters the development of critical competencies, ethical engagement, and socially responsible action (Estepa & Martín-Cáceres, 2018; Puig et al., 2023). This, in turn, contributes to shaping a scientifically literate, reflective, and socially committed citizenry (ISTE & CSTA, 2011; OECD, 2019; Tippett et al., 2019; UNESCO, 2024). Thus, this section addresses Specific Objective 8 and, in part, the main research question and overall objective, opening the door to the possibility of implementing similar practices in other educational contexts and through other socio-scientific issues related to controversial heritage in secondary education.

5.14 Contributions of the Proposal to the Third Vision of Critical Scientific Literacy

To more broadly address the general research question, this final section is dedicated to highlighting how this research contributes key elements toward advancing a critical, engaged, and contextually grounded form of scientific literacy. Beyond the achievements, difficulties, and tensions addressed in the previous section, the intention here is to demonstrate that the methodological proposal designed and implemented in this doctoral thesis significantly supports the advancement of the third vision of scientific literacy, as outlined by Hodson (2011) and Sadler (2007). This vision is understood not merely as the acquisition of scientific concepts and procedures, but as the formation of critical, engaged citizens who are capable of reflective action in relation to socioscientific issues. In line with the model proposed by Tippett et al. (2019) (see figure 1), the contributions of this research are analyzed through three interrelated dimensions: disciplinary, applied, and fundamental.

5.14.1 Disciplinary Dimension

The disciplinary dimension, focused on conceptual and procedural mastery of science, was developed through the integration of authentic practices of inquiry, modeling, and computational thinking, in accordance with the recommendations of Pedaste et al. (2015) and Couso (2020). Scientific inquiry, structured through the model-based inquiry (MBI) cycle, enabled students to formulate genuine questions, design investigations, collect data using custom-built instruments, and construct evidence-based explanations. This structure also incorporated key practices such as variable control, critical data interpretation, and the formulation of reasoned conclusions, as advocated by Duschl et al. (2007).

Modeling served as a central component for understanding abstract and complex phenomena, through the construction of a physical model of the Tinto River and its canalization system, representing the flow of water with varying acidity (Schwarz et al., 2009; Oh and Oh, 2011). This strategy not only facilitated the transition from empirical data to scientific theories, but also supported the visualization and representation of dynamic processes, helping to overcome common conceptual difficulties in teaching physicochemical phenomena (Justi, 2019).

Computational thinking, fostered through the design and programming of sensors using Micro:bit boards, allowed students to develop skills such as problem decomposition, abstraction, and algorithmic sequencing, as proposed by Bocconi et al. (2016) and Weintrop et al. (2016). The combination of automated data collection and its critical interpretation enhanced the understanding of concepts such as pH and turbidity, addressing common misconceptions documented in the literature (Kala et al., 2013; López-Banet et al., 2021).

5.14.2 Applied Dimension

The applied dimension, understood as the capacity to transfer scientific knowledge to the resolution of real-life problems, was particularly reinforced through the contextualization of learning around the controversial heritage of the Tinto River. The selection of this real context, rich in social, environmental, and historical implications, enabled learning to be anchored in authentic socioscientific issues, in accordance with the recommendations of Sadler (2011) and Estepa and Martín-Cáceres (2018).

The experimental work carried out, from the construction of sensors to the programming of environmental monitoring devices, clearly exemplified educational engineering design (National Research Council, 2012), in which students not only applied their scientific and technological knowledge but also faced the challenge of finding viable solutions to complex problems. The creation of a functional model of the Tinto River, including canalization systems to represent various environmental conditions, constituted a direct application of design and scientific modeling skills within an interdisciplinary setting, integrating science, technology, and engineering in an authentic STEAM framework (Martín-Cudero et al., 2024; Toma and García-Carmona, 2021).

Additionally, the development of blogs, presentations, and other digital products helped to strengthen competencies related to scientific communication, digital literacy, and collaborative work, as proposed by Blanco-López et al. (2018) and ISTE (2018). These

productions not only served as evidence of learning but also fostered the transfer of acquired knowledge to broader audiences, thereby reinforcing the social role of science.

5.14.3 Fundamental Dimension

The fundamental dimension was addressed transversally throughout the entire proposal and served as a key pillar for the development of critical citizenship. Critical thinking was promoted through activities focused on evaluating evidence, constructing well-structured arguments, and justifying and making decisions in controversial contexts (Kerr and Huddleston, 2015; OECD, 2023a; Pagès, 2019). The phases of debate and public presentation required students to analyze different perspectives, assess the quality of sources, and defend their positions in a logical and evidence-based manner (Facione, 2007).

The use of controversial heritage issues (SSI) as the central axis of the proposal, following the recommendations of Estepa and Martín-Cáceres (2018), encouraged emotional engagement among students, generating feelings such as indignation, concern, or compassion in response to the socio-environmental issues addressed. As noted by Loderer et al. (2020), emotional arousal, when properly channeled, can act as a catalyst for critical reflection and ethical awareness.

Managing these emotions, alongside the explicit development of cognitive and emotional self-regulation skills, contributed to the enhancement of metacognitive competencies essential for critical scientific literacy (Pekrun, 2006; Jiménez-Liso et al., 2021). Activities such as critical review of constructed arguments, self-assessment of digital productions, and analysis of debated positions enabled students to reflect on their own thought processes (Duschl et al., 2007).

Referencias

Acevedo, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3-16.

Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, *ESP*, 40-49.

Aho, A. (2011). *Ubiquity: Ubiquity symposium: Computation and Computational Thinking*. https://doi.org/10.1145/1895419.1922682

Aktoprak, A., & Hursen, C. (2022). A bibliometric and content analysis of critical thinking in primary education. *Thinking Skills and Creativity*, *44*, 101029. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101029

Allan, J. D., Castillo, M. M., & Capps, K. A. (2021). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3

Amanova, A. K., Butabayeva, L. A., Abayeva, G. A., Umirbekova, A. N., Abildina, S. K., & Makhmetova, A. A. (2025). A systematic review of the implementation of STEAM education in schools. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *21*(1), em2568. https://doi.org/10.29333/ejmste/15894

Amat, A., & Sellas Ayats, I. (2017). Las emociones de los estudiantes de magisterio en relación a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y de las matemáticas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, *0*, 2053-2058.

Amils, R. (2012). Ambientes extremos y geología: El caso de Río Tinto. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, *20*(2), Article 2.

Ananda, L. R., Rahmawati, 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

Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. En *Handbook of Research on Science Education*. Routledge.

Angeli, C., & Giannakos, M. (2020). Computational thinking education: Issues and challenges. *Computers in Human Behavior*, *105*, 106185. https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106185

Anggraeni, D. M., Prahani, B. K., Suprapto, N., Shofiyah, N., & Jatmiko, B. (2023). Systematic review of problem-based learning research in fostering critical thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, *49*, 101334. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101334

Antosiewicz, J., & Kane, P. (2022). Editorial: Intracellular Molecular Processes Affected by pH. *Frontiers in Molecular Biosciences*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.891533

Aragón, M. D. M., Oliva-Martínez, J. M., & Navarrete, A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *32*(3), 337-356. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1193

Arroyo-Mora, E., & Cuenca-López, J. M. (2021). Patrimonios controversiales y educación ciudadana a través del museo en Educación Infantil. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado. Continuación de la antigua Revista de Escuelas Normales*, *96*(35.3), 109-128. https://doi.org/10.47553/rifop.v96i35.3.91433

Arroyo-Mora, E., Sampedro-Martín, S., Martín-Cáceres, M. J., & 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

Ashwin, T. S., Snyder, C., Akpanoko, C. E., P, S. M., & Biswas, G. (2024). Combining Multimodal Analyses of Students' Emotional and Cognitive States to Understand Their Learning Behaviors. *International Conference on Computers in Education*. https://doi.org/10.58459/icce.2024.4854

Aslan, U., Horn, M., & Wilensky, U. (2024). Why are some students "not into" computational thinking activities embedded within high school science units? Key takeaways from a microethnographic discourse analysis study. *Science Education*, 1-28. https://doi.org/10.1002/sce.21850

Badeo, J. M., & Duque, D. A. (2022). The effect of Socio-Scientific Issues (SSI) in teaching science: A meta-analysis study. *Journal of Technology and Science Education*, *12*(2), 291. https://doi.org/10.3926/jotse.1340

Ban, S., & Mahmud, S. N. D. (2023). Research and Trends in Socio-Scientific Issues Education: A Content Analysis of Journal Publications from 2004 to 2022. *Sustainability*, *15*(15), 11841. https://doi.org/10.3390/su151511841

Banchi, H., & Bell, R. (2008). *Inquiry comes in various forms*.

Barr, D., Harrison, J., & Conery, L. (2011). Computational Thinking: A Digital Age Skill for Everyone. *Learning & Leading with Technology*, *38*(6), 20-23.

Barrett, B. S., Moran, A. L., & Woods, J. E. (2014). Meteorology meets engineering: An interdisciplinary STEM module for middle and early secondary school students. *International Journal of STEM Education*, *1*(1), 6. https://doi.org/10.1186/2196-7822-1-6

Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, *17*(3), 265-278. https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5

Basogain-Olabe, X., Olabe-Basogain, M. Á., & Olabe-Basogain, J. C. (2015). Pensamiento Computacional a través de la Programación: Paradigma de Aprendizaje. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, *46*. https://doi.org/10.6018/red/46/6

Bathgate, M. E., Crowell, A., Schunn, C., Cannady, M., & 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

Bellocchi, A., Ritchie, S. M., Tobin, K., King, D., Sandhu, M., & Henderson, S. (2014). Emotional climate and high quality learning experiences in science teacher education. *Journal of Research in Science Teaching*, *51*(10), 1301-1325. https://doi.org/10.1002/tea.21170

Bencze, L. (Ed.). (2017). *Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments* (Vol. 14). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8

Ben-Eliyahu, A. (2019). Academic Emotional Learning: A Critical Component of Self-Regulated Learning in the Emotional Learning Cycle. *Educational Psychologist*, *54*(2), 84-105. https://doi.org/10.1080/00461520.2019.1582345

Beniermann, A., Mecklenburg, L., & 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

Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, *91*, 347-370. https://doi.org/10.1002/sce.20186

Bers, M., Seddighin, S., & Sullivan, A. (2013). Ready for Robotics:Bringing together the T and E of STEM in early childhood teacher education. *Journal of Technology and Teacher Education*, *21*(3), 355-377.

Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, *38*(1), 17-29. https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1124300

Bisquerra, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa*. La Muralla. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5826

Bisquerra, R. (2016). Universo de emociones: La elaboración de un material didáctico. *Inteligencia Emocional y Bienestar II: reflexiones, experiencias profesionales e investigaciones, 2016, ISBN 978-84-608-4847-9, págs. 20-31*, 20-31. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5568380

Blanchard, M., Southerland, S., Osborne, J., Sampson, V., Annetta, L., & Granger, E. (2010). Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, *94*, 577-616. https://doi.org/10.1002/sce.20390

Blanco-López, Á., España Ramos, E., & Franco Mariscal, A. J. (2018). Competencias y prácticas científicas en problemas de la vida diaria. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, *92*, 45-51.

Blanco-López, Á., España-Ramos, E., & 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

Bocconi, S., Chioccariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., & Engelhardt, K. (2016). *El Pensamiento Computacional en la Enseñanza Obligatoria (Computhink) by INTEFP Europa—Developing computational thinking in compulsory education—Implications for policy and practice*. https://issuu.com/ite_europa/docs/2017_0206_computhink_jrc_ue_intef

Boczkaj, G., & Fernandes, A. (2017). Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review. *Chemical Engineering Journal*, *320*, 608-633. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.084

BOE-A-2020-17264 Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2025, de https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-17264

Boice, K. L., Alemdar, M., Jackson, J. R., Kessler, T. C., Choi, J., Grossman, S., & Usselman, M. (2024). Exploring teachers' understanding and implementation of STEAM: One size does not fit all. *Frontiers in Education*, *9*. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1401191

Boice, K. L., Jackson, J. R., Alemdar, M., Rao, A. E., Grossman, S., & Usselman, M. (2021). Supporting Teachers on Their STEAM Journey: A Collaborative STEAM Teacher Training Program. *Education Sciences*, *11*(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/educsci11030105

Bolo-Romero, K. M., Gutiérrez-Velasco, F., Córdova-Berona, H. A., & Alvarado-Suyo, S. A. (2023). Relationship Between Digital Competencies and Critical Thinking: A Review of the Scientific Literature from 2015 to 2022. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*. https://doi.org/10.36941/ajis-2023-0119

Bondaryk, L. G., Hsi, S., & Van Doren, S. (2021). Probeware for the Modern Era: IoT Dataflow System Design for Secondary Classrooms. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, *14*(2), 226-237. https://doi.org/10.1109/TLT.2021.3061040

Bossér, U., & Lindahl, M. (2019). Students' Positioning in the Classroom: A Study of Teacher-Student Interactions in a Socioscientific Issue Context. *Research in Science Education*, *49*(2), 371-390. https://doi.org/10.1007/s11165-017-9627-1

Botella-Corral, J., & Casas, M. (2003). *La democracia y sus retos en el siglo XXI: Elementos para la formación democrática de los jóvenes*. http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=49820

Bower, M., Wood, L., Lai, J., Howe, C., Lister, R., Mason, R., Highfield, K., & Veal, J. (2017). Improving the Computational Thinking Pedagogical Capabilities of School Teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, *42*(3). https://doi.org/10.14221/ajte.2017v42n3.4

Brande, L. V. den, Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2016). *DigComp 2.0: The digital competence framework for citizens*. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2791/11517

Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics*, *112*(1), 3-11. https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x

Brennan, K., & Resnick, M. (2012). *New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking*.

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, *18*(1), 32-42. https://doi.org/10.3102/0013189X018001032

Bunterm, T., Lee ,Kerry, Ng Lan Kong ,Jeremy, Srikoon ,Sanit, Vangpoomyai ,Penporn, Rattanavongsa ,Jareunkwan, & and Rachahoon, G. (2014). Do Different Levels of Inquiry Lead to Different Learning Outcomes? A comparison between guided and structured inquiry. *International Journal of Science Education*, *36*(12), 1937-1959. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.886347

Buskqvist, U., & Johansson, E. (2024). From digital competence to digital capacity. *Nordic Journal of Digital Literacy*, *19*(1), 39-51. https://doi.org/10.18261/njdl.19.1.4

Busquets, T., Silva, M., & Larrosa, P. (2016). Reflections on the Teaching-Learning of the Natural Sciences: New perspectives and challenges. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, *42*(ESPECIAL), 117-135. https://doi.org/10.4067/S0718-07052016000300010

Bybee, R. W. (with Internet Archive). (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH : Heinemann. http://archive.org/details/achievingscienti0000bybe

Bybee, R. (2000). *Teaching science as inquiry. En: J. Minstrell, & E. van Zee (eds.), Inquiring into inquiry learning and teaching in science, pp. 20-46. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science, 2000.* For full text: http://www.

Bybee, R., & McCrae, B. (2011). Scientific Literacy and Student Attitudes: Perspectives from PISA 2006 science. *International Journal of Science Education*, *33*(1), 7-26. https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518644

Bybee, R. W. (2006). Scientific Inquiry and Science Teaching. En L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 1-14). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1_1

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. National Science Teachers Association.

Bybee, R. (2015). Scientific Literacy. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 944-947). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_178

Caamaño, A. (2011). Enseñar Química mediante la contextualización. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, *69*, 21-34.

Camacho-Morles, J., Slemp, G. R., Pekrun, R., Loderer, K., Hou, H., & Oades, L. G. (2021). Activity Achievement Emotions and Academic Performance: A Meta-analysis. *Educational Psychology Review*, *33*(3), 1051-1095. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09585-3

Campina-López, A., Heras Pérez, M. Á. de las, & Lorca Marín, A. A. (2024). Estudio del pH a partir de un patrimonio natural controversial: Una propuesta para el desarrollo del pensamiento computacional en el Grado en Educación Primaria. *31 Encuentros*

Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales: Hacia una educación científica alineada con la Agenda 2030, 2024, ISBN 978-84-18465-90-1, págs. 767-772, 767-772. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9697937

Cañal, P. (2008). *Proyecto curricular Investigando Nuestro Mundo (6-12): Investigando los seres vivos*. Díada.

Cárdenas, Y. B., & Saavedra, R. C. (2017). Desarrollo de la competencia de indagación en Ciencias Naturales. *Educación Y Ciencia*, *20*, 1-15.

Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). *DigComp 2.1: The digital competence framework for citizens with eight proficiency levels and examples of use. Joint Research Centre (European Commission)*. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2760/38842

Caudo, G., Fava, F., & Oevermann, H. (2023). Towards Inquiry-Based Learning in Spatial Development and Heritage Conservation: A Workshop at Corviale, Rome. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su15054391

Chamizo, J. A. (2006). Los modelos de la Química. Educ. Quím., 17 (2006), pp. 476-482. *Educación Química*. https://www.academia.edu/63467211/Los_modelos_de_la_Qu%C3%ADmica

Chatterjee, S., Williamson, V. M., McCann, K., & Peck, M. L. (2009). Surveying Students' Attitudes and Perceptions toward Guided-Inquiry and Open-Inquiry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, *86*(12), 1427-1432.

Chin, C., & Chia, L.-G. (2004). Problem-Based Learning: Using Students' Questions to Drive Knowledge Construction. *Science Education*, *88*(5), 707-727. https://doi.org/10.1002/sce.10144

Chisman, D. G. (2013). International Council of Associations for Science Education. *Studies in Science Education*, *2*(1), 150-155. https://doi.org/10.1080/03057267508559823

Chiu, M., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *1*. https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y

Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *1*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y

Clark, T. M., Anderson, E., Dickson-Karn, N. M., Soltanirad, C., & Tafini, N. (2023). Comparing the Performance of College Chemistry Students with ChatGPT for Calculations Involving Acids and Bases. *Journal of Chemical Education*, *100*(10), 3934-3944. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00500

Colucci-Gray, D. L., Cooke, C., & Gray, D. D. (2017). *Reviewing the potential and challenges of developing STEAM education through creative pedagogies for 21st century learning: How can school curricula be broadened towards a more responsive, dynamic and inclusive form of education? British Educational Research Association (BERA)*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22452.76161

Committee on STEM Education. (2018). *Charting a Course for Success: America's Strategy for STEM Education*.

Cordenonzi, W. H., & Del Pino, J. C. (2021). Método de evaluación del pensamiento computacional y alfabetización en código. *Praxis & Saber*, *12*(31), e11750. https://doi.org/10.19053/22160159.v12.n31.2021.11750

Corradini, I., Lodi, M., & Nardelli, E. (2017). *Conceptions and misconceptions about computational thinking among Italian primary school teachers*. 136-144. Scopus. https://doi.org/10.1145/3105726.3106194

Costa, E. J. F., Campos, L. M. R. S., & Dario Serey Guerrero, D. (2017). Computational thinking in mathematics education: A joint approach to encourage problem-solving ability.

2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 1-8. https://doi.org/10.1109/FIE.2017.8190655

Couso, D. (2014). *«De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: Una reflexión crítica.» Actas 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Conferencia plenaria inaugural*. 28.

Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Un intent de definir l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, *34*, Article 34. https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.403

Couso, D. (2020). Aprender ciencia involucra aprender ideas potentes de la ciencia: La modelización ayuda a la explicación-predicción de fenómenos. *Enseñando ciencia con ciencia, 2020, ISBN 978-84-010-5931-5, págs. 63-74*, 63-74. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8404385

Couso, D., & Grimalt-Álvaro. (2017). *¿Qué es STEM y STEAM y por qué ponerse a ello? «Per a què estem a STEM? Defi nint l'alfabetit zació STEM per a tothom i amb valors». Ciències. Revista Del Profes sorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària , núm. 34, pp. 22-28*. Especialistas en educación. https://www.grao.com/contenido/que-es-stem-y-steam-y-por-que-ponerse-a-ello/

Crawford, B. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. Journal of Research in Science Teaching 44: 613-642. *Chiapetta & Adams*, *44*, 613-642. https://doi.org/10.1002/tea.20157

Crawford, B. A. (2014). From Inquiry to Scientific Practices in the Science Classroom. En *Handbook of Research on Science Education, Volume II*. Routledge.

Crompton, H. (2023). Evidence of the ISTE Standards for Educators leading to learning gains. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *39*(4), 201-219. https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2244089

Crujeiras, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012, julio 1). *Participar en las prácticas científicas: Aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pastas de dientes. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 72, 12-19*. Graò. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales. https://www.grao.com/revistas/ensenar-que-es-la-ciencia-202

Csizmadia, A., Curzon, P., Dorling, M., Humphreys, S., Ng, T., Selby, C., & Woollard, J. (2015). *Computational thinking—A guide for teachers*.

Cuenca-López, J. M. (2014). El papel del patrimonio en los centros educativos: Hacia la socialización patrimonial. *Tejuelo: Didáctica de la Lengua y la Literatura. Educación*, *19*, 76-96.

Cuenca-López, J. M., & Estepa-Giménez, J. (2017). Educación patrimonial para la inteligencia territorial y emocional de la ciudadanía. *MIDAS. Museus e estudos interdisciplinares*, *8*, Article 8. https://doi.org/10.4000/midas.1173

Cuenca-López, J. M., Martín-Cáceres, M. J., & Estepa-Giménez, J. (2021). Teacher training in heritage education: Good practices for citizenship education. *Humanities and Social Sciences Communications*, *8*(1), 1-8. https://doi.org/10.1057/s41599-021-00745-6

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., & 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

Davies, M. (2013). Critical thinking and the disciplines reconsidered. *Higher Education Research & Development*, *32*(4), 529-544. https://doi.org/10.1080/07294360.2012.697878

Davis, J. P., & Bellocchi, A. (2020). Intensity of emotional energy in situated cultural practices of science education. *Cultural Studies of Science Education*, *15*(2), 359-388. https://doi.org/10.1007/s11422-019-09931-0

De Pro, A. (2012). *Hacia la competencia científica. Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales. Num. 70. Pp. 5-8*. https://aulasvirtuales.uhu.es/pluginfile.php/671016/mod_resource/content/1/competencia%20cient%C3%ADfica.%20alambique%2070.%20antonio%20de%20pro.pdf

Deák, C., & Kumar, B. (2024). A Systematic Review of STEAM Education's Role in Nurturing Digital Competencies for Sustainable Innovations. *Education Sciences*. https://doi.org/10.3390/educsci14030226

Decreto 102/2023, de 9 de mayo, por el que se establece la ordenación y el currículo de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. (s. f.). Recuperado 24 de abril de 2025, de https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/90/3

D*ecreto 558/2004*. (2004). *Decreto 558/2004, de 14 de diciembre, por el que se declara el Paisaje Protegido de Río Tinto*. Recuperado 23 de septiembre de 2024, de https://www.juntadeandalucia.es/boja/2005/10/2

Delgado-Domínguez, A. D. (2020). *Cuenca Minera De Riotinto (Huelva), Paisaje Hecho a Mano Área Temática: Paisaje Cultural. I Simposio anual de Patrimonio Natural y Cultural ICOMOS España 21- 23 de noviembre 2019. Madrid*. https://doi.org/10.4995/icomos2019.2020.11055

Denzin, N., & Lincoln, Y. (2011). *The SAGE Handbook of Qualitative Research. SAGE publications, Inc*. SAGE Publications Inc. https://us.sagepub.com/en-us/nam/the-sage-handbook-of-qualitative-research/book242504

Dewey, J. (1938). *The School and Society and The Child and the Curriculum*. University of Chicago Press.

DeWitt, J., & and Archer, L. (2017). Participation in informal science learning experiences: The rich get richer? *International Journal of Science Education, Part B*, *7*(4), 356-373. https://doi.org/10.1080/21548455.2017.1360531

Díez López, J. R., Rúa, D., Barrutia Sarasua, O., & Ortega Lasuen, U. (2024). Concepciones del profesorado y alumnado de Secundaria sobre los ecosistemas fluviales y su gestión. *31 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales: Hacia una educación científica alineada con la Agenda 2030, 2024, ISBN 978-84-18465-90-1, págs. 517-523*, 517-523. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9697922

DIMACS. (s. f.). What Is Computational Thinking? *Computational Thinking for High School Teachers. Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science (DIMACS)*. Recuperado 3 de abril de 2025, de https://ctpdonline.org/computational-thinking/

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, EP, CONSIL, 327 OJ L (2000). http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng

Dolgopolovas, V., & Dagienė, V. (2021). Computational thinking: Enhancing STEAM and engineering education, from theory to practice. *Computer Applications in Engineering Education*, *29*, 11-15. https://doi.org/10.1002/cae.22382

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.

Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science1. En D. Jorde & J. Dillon (Eds.), *Science Education Research and Practice in*

Europe: Retrosspective and Prospecctive (pp. 13-37). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2

Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. National Academies Press.

Dwyer, C. P., Hogan, M. J., & Stewart, I. (2014). An integrated critical thinking framework for the 21st century. *Thinking Skills and Creativity*, *12*, 43-52. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.12.004

Elliott, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción* (4a. ed). Morata.

English, L. D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *15*(1), 5-24. https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x

Ennis, R. H. (1989). Critical Thinking and Subject Specificity: Clarification and Needed Research. *Educational Researcher*, *18*(3), 4-10. https://doi.org/10.3102/0013189X018003004

Ennis, R. H. (2015). Critical Thinking: A Streamlined Conception. En M. Davies & R. Barnett (Eds.), *The Palgrave Handbook of Critical Thinking in Higher Education* (pp. 31-47). Palgrave Macmillan US. https://doi.org/10.1057/9781137378057_2

Erduran, S., & Jiménez Aleixandre, M. P. (2008). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. Springer.

Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, *88*(6), 915-933. https://doi.org/10.1002/sce.20012

España, E., & Prieto-Ruz, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, *71*, Article 71. https://doi.org/10.12795/IE.2010.i71.02

Estepa, J., & 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., & 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, 2021, ISBN 978-84-18105-99-9, págs. 483-492*, 483-492. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8227419

Estepa, J., & Delgado-Algarra, E. J. (2021). *Educación ciudadana, patrimonio y memoria en la enseñanza de la historia: Estudio de caso e investigaciónacción en la formación inicial del profesorado de secundaria*. https://doi.org/10.17398/2531-0968.08.172

Estepa, J. (2024). Educar en memoria histórica y democrática a través de la educación patrimonial: El antipatrimonio. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, *14*, Article 14. https://doi.org/10.17398/2531-0968.14.01

European Commission. (2015). *Science education for responsible citizenship: Report to the European Commission of the expert group on science education*. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2777/12626

Facione, P. A. (2007). Pensamiento Crítico: ¿Qué es y por qué es importante? *Insight Assessment. The California Academic Press*, 1-22.

Fernández-Abascal, E. G. (2009). *Emociones positivas*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=567121

Fernández-Remolar, D. C., Morris, R. V., Gruener, J. E., Amils, R., & Knoll, A. H. (2005). The Río Tinto Basin, Spain: Mineralogy, sedimentary geobiology, and implications for

interpretation of outcrop rocks at Meridiani Planum, Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, *240*(1), 149-167. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.09.043

Fernández-Santín, M., & Feliu-Torruella, M. (2020). Developing critical thinking in early childhood through the philosophy of Reggio Emilia. *Thinking Skills and Creativity*, *37*, 100686. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100686

Figueroa-Céspedes, I. F., Carrasco, E. P., Godoy, M. E., & Arce, T. D. (2020). Habilidades de Pensamiento Científico: Una propuesta de abordaje interdisciplinar de base sociocrítica para la formación inicial docente. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, *19*(41), Article 41.

Flick, U. (2015). *Introducción a la investigación cualitativa*. Ediciones Morata. https://edmorata.es/producto/introduccion-a-la-investigacion-cualitativa/

Forawi, S. A. (2016). Standard-based science education and critical thinking. *Thinking Skills and Creativity*, *20*, 52-62. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2016.02.005

Freire, P. (1973). *Education for Critical Consciousness*. 1-208.

Furman, M., & Podestá, M. (2009). *La Aventura de Enseñar Ciencias Naturales*.

Fussero, G. B., Occelli, M., & Chiarani, M. (2021). Computational Thinking and Genetic Engineering learning: An Approach from Design Research. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, *30*, 40-50.

Galera Flores, R. E., Jiménez Tenorio, N., & Oliva, J. M. (2023). La enseñanza del modelo de ser vivo en la formación inicial de maestros: Primer ciclo de una investigación basada en el diseño: *Didacticae. Journal of Research in Specific Didactics: / Revista d'Investigació en Didàctiques Específiques / Revista de Investigación en Didácticas Específicas.*, *14*, 176-196.

Galileo Educational Network. (s.f.). ¿Qué es la Indagación? *Galileo Educational Network*. https://galileo.org/articles/que-es-la-indagacion/

Gandolfi, H. E. (2024). (Re)considering Nature of Science Education in the Face of Socio-scientific Challenges and Injustices. *Science & Education*. https://doi.org/10.1007/s11191-024-00536-w

Gao, L., Mun, K., & Kim, S. (2019). Using Socioscientific Issues to Enhance Students' Emotional Competence. *Research in Science Education*, *51*, 935-956. https://doi.org/10.1007/S11165-019-09873-1

García Cartagena, Y., Reyes González, D. S., & Burgos Oviedo, F. (2017). Actividades STEM en la formación inicial de profesores: Nuevos enfoques didácticos para los desafíos del siglo XXI. *Revista Electrónica Diálogos Educativos*, *33*, 35-46.

García-Fuentes, O. (2022). Educational robotics and computational thinking in early childhood and the home: A study in the digital press. *Digital Education Review*, *41*, 124-139. Scopus. https://doi.org/10.1344/DER.2022.41.124-139

Garcia-Gonzalez, S. M., & Furman, M. G. (2014). Categorization of Questions Posed Before and After Inquiry-Based Learning. *PRAXIS & SABER*, *5*(10), 75-91.

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *2*(2), 115-130. https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4

Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 957-976. https://doi.org/10.1080/09500690600702470

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2018). Introducing Modelling into School Science. En J. Yeo, T. W. Teo, & K.-S. Tang (Eds.), *Science Education Research and Practice in Asia-Pacific and Beyond* (pp. 25-38). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5149-4_2

Gil-Pérez, D., & Vilches, A. (2005). Inmersión en la cultura científica para la toma de decisiones. ¿Necesidad o mito? *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, *2*(3), 302-329. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i3.02

Goetz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R., Hall, N. C., & Lüdtke, O. (2007). Between- and within-domain relations of students' academic emotions. *Journal of Educational Psychology*, *99*(4), 715-733. https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.4.715

Gómez Castillo, M., Vergel Ortega, M., & Fernández Nieto, E. L. (2017). Creativa, metodología para la motivación por el aprendizaje de las ciencias naturales. *Revista Logos ciencia y tecnología*, *8*(2), 201-210.

Gómez Villar, J., & Canessa Vicencio, F. (2019). Social emotions, heritage and recognition. The Struggle of Colina Stonemasons in Santiago, Chile. *International Journal of Heritage Studies*, *25*(12), 1263-1278. https://doi.org/10.1080/13527258.2019.1590448

Gómez-Díaz, M., Lopez Sancho, J., Rodríguez, S., Ruiz del Arbol Moro, M., Moreno Gómez, E., Refolio, M., López-Sancho, M., Cuesta, I., Ripoll, M., González, J., Rodríguez, J., Adamska, J., Karpińska, K., Cyganek, M., Szczepańczyk, G., Szczepańczyk, J., Grigaliūnaitė, R., Quisillo, R., Jasinskiene, R., & Krakowska, B. (2018). *Alfabetización científica en la escuela: Propuesta de una nueva metodología*.

Gómez-Hurtado, I., & Cuenca-López, J. M. (2022). Heritage Education and Special Education: Working on Emotions with Differently Abled People through Heritage. *Heritage & Society*, *16*, 22-51. https://doi.org/10.1080/2159032X.2022.2126221

Gómez-Ortiz, D., Fernández-Remolar, D. C., Granda, Á., Quesada, C., Granda, T., Prieto-Ballesteros, O., Molina, A., & Amils, R. (2014). Identification of the subsurface sulfide bodies responsible for acidity in Río Tinto source water, Spain. *Earth and Planetary Science Letters*, *391*, 36-41. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.01.022

González Castanedo, Y., Romero Fernández, R., & Heras Pérez, M. Á. de las. (2024). Emociones y patrimonio controversial en la formación de profesores de secundaria de Biología y Geología. *31 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales: Hacia una educación científica alineada con la Agenda 2030, 2024, ISBN 978-84-18465-90-1, págs. 1085-1090*, 1085-1090. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9697837

González, J., Minguell, M. E., & Bosch, M. P. (2018). ¿Robots o programación? El concepto de Pensamiento Computacional y los futuros maestros. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, *19*(2), Article 2. https://doi.org/10.14201/eks20181922945

Goyette, G., & Lessard-Hébert, M. (1988). *La investigación-acción: Sus funciones, sus fundamentos y su instrumentación*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=123877

Greenaway, K. H., Kalokerinos, E. K., & Williams, L. A. (2018). Context is Everything (in Emotion Research). *Social and Personality Psychology Compass*, *12*(6), e12393. https://doi.org/10.1111/spc3.12393

Gretter, S., & Yadav, A. (2016). Computational Thinking and Media & Information Literacy: An Integrated Approach to Teaching Twenty-First Century Skills. *TechTrends*, *60*(5), 510-516. https://doi.org/10.1007/s11528-016-0098-4

Gross, K., & Gross, S. (2016). Transformation: Constructivism, Design Thinking, and Elementary STEAM. *Art Education*, *69*(6), 36-43. https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224869

Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational Thinking in K–12: A Review of the State of the Field. *Educational Researcher*, *42*(1), 38-43. https://doi.org/10.3102/0013189X12463051

Grover, S., & Pea, R. (2017). *Computational Thinking: A Competency Whose Time Has Come*. https://doi.org/10.5040/9781350057142.ch-003

Guerrero, G., & Sjöström, J. (2025). Critical scientific and environmental literacies: A systematic and critical review. *Studies in Science Education*, *61*(1), 41-87. https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2344988

Guerrero, G., & Torres-Olave, B. (2022). Scientific literacy and agency within the Chilean science curriculum: A critical discourse analysis. *The Curriculum Journal*, *33*(3), 410-426. https://doi.org/10.1002/curj.141

Guerrero-Hernández, G., Rojas-Avilez, L., & González-Weil, C. (2023). Critical Scientific Literacy Approach and Critical Theories in the Learning of Science Outside the Classroom. En P. G. Patrick (Ed.), *How People Learn in Informal Science Environments* (pp. 119-136). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13291-9_7

Guilielmo, B. (2024). Inquiry, Questions, and Actions. *Dialogue*, *63*(2), 339-356. https://doi.org/10.1017/S001221732400012X

Guy-Gaytán, C., Gouvea, J. S., Griesemer, C., & Passmore, C. (2019). Tensions Between Learning Models and Engaging in Modeling. *Science & Education*, *28*(8), 843-864. https://doi.org/10.1007/s11191-019-00064-y

Hargreaves, A. (1998). The Emotions of Teaching and Educational Change. En A. Hargreaves, A. Lieberman, M. Fullan, & D. Hopkins (Eds.), *International Handbook of Educational Change: Part One* (pp. 558-575). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4944-0_28

Harlen, W. (2000). *Teaching, learning and assessing science 5-12* (3rd ed.). Paul Chapman Pub. Ltd.

Hazelkorn, E., Ryan, C., Beernaert, Y., Constantinou, C., Deca, L., Grangeat, M., Karikorpi, M., Lazoudis, A., Pintó, R., & Welzel-Breuer, M. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. https://doi.org/10.2777/12626

He, Y., Ding, M., Liu, M., Wu, L., Liu, Z., Guo, H., & Wang, H. (2024). Teaching Reform and Practice Based on Four Dimensions and One Penetration for Sensing and Detection Technology. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, *25*(4), 66-86. https://doi.org/10.19173/irrodl.v25i4.7689

Henita, N., Erita, Y., Nadia, D. O., & Yulia, R. (2023). The Effect of the Steam Approach on Student Social Science Learning Outcomes in Elementary School. *Journal of digital learning and distance education*. https://doi.org/10.56778/jdlde.v1i9.52

Hernández-Barco, M., Sánchez-Martín, J., Corbacho-Cuello, I., & Cañada-Cañada, F. (2021). Emotional Performance of a Low-Cost Eco-Friendly Project Based Learning Methodology for Science Education: An Approach in Prospective Teachers. *Sustainability*, *13*(6), Article 6. https://doi.org/10.3390/su13063385

Herranen, J., & Aksela, M. (2019). Student-question-based inquiry in science education. *Studies in science education*, *55*(1), 1-36. https://doi.org/10.1080/03057267.2019.1658059

Herro, D., Quigley, Cassie, Plank, Holly, Abimbade, Oluwadara, & Owens, A. (2022). Instructional practices promoting computational thinking in STEAM elementary classrooms. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *38*(4), 158-172. https://doi.org/10.1080/21532974.2022.2087125

Hewson, P., & Beeth, M. (1999). *Learning goals in an exemplary science teacher's practice: Cognitive and social factors in teaching for conceptual change*. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=468777

Hodson, D. (2011). *Looking to the Future*. Springer Science & Business Media.

Hooks, B. (2010). *Enseñar Pensamiento Crítico* (Cuarta). Rayo Verde. http://archive.org/details/bell-hooks-ensenar-pensamiento-critico

Huddleston, T., & Kerr, D. (2016, agosto 3). *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

Ibrahim, S., Gobbo, D. D., Halwany, S. E., Zouda, M., Milanovic, M., Hassan, N., Krstovic, M., Kofman, N., & Bencze, L. (2022). STEAM not STEaM: Revisioned Pedagogies Prioritizing Social Justice and Ecological Sustainability in STEAM Education. *Journal for Activist Science and Technology Education*, *12*(1), Article 1. https://jps.library.utoronto.ca/index.php/jaste/article/view/38138

Ifqiren, S., Bouzit, S., Kouchou, I., & Selmaoui, S. (2023). Modelling in the scientific approach to teaching life and earth sciences: Views and practices of Moroccan teachers. *Journal of Education and E-Learning Research*, *10*(4), 605-615. https://doi.org/10.20448/jeelr.v10i4.5003

Ist International Scientific Conference Steam + X Approach in Education: Research, Practice and Perspectives – DOI UBKG. (2024). https://doi.ub.kg.ac.rs/2024/steamx/

ISTE & CSTA. (2011). *Computational Thinking for All. Computer Science Teachers Association (CSTA) and the International Society for Technology in Education (ISTE)*. ISTE. https://iste.org/blog/computational-thinking-for-all

ISTE (2018). *ISTE Standards for Educators: Computational Thinking Competencies, ©2018, ISTE® (International Society for Technology in Education), www.iste.org*. ISTE. https://iste.org/standards

Izard, C. E. (1991). *The psychology of emotions* (pp. xx, 451). Plenum Press. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0615-1

Izard, C. E. (1992). Basic emotions, relations among emotions, and emotion-cognition relations. *Psychological Review*, *99*(3), 561-565. https://doi.org/10.1037/0033-295x.99.3.561

Jayakumar, U. (2009). Can Higher Education Meet the Needs of an Increasingly Diverse and Global Society? Campus Diversity and Cross-Cultural Workforce Competencies. *Harvard Educational Review*, *78*(4), 615-651. https://doi.org/10.17763/haer.78.4.b60031p350276699

Jiménez-Aleixandre, M. P. (2003). Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias. *Enseñar ciencias, 2003, ISBN 84-7827-285-2, págs. 55-72*, 55-72. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=303182

Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., & Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, *84*(6), 757-792. https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F

Jiménez-Liso, R., Sanchez, M., Manuel, E., & Graó. (2001). Aprender química de la vida cotidiana más allá de lo anecdótico. *http://www.redined.mec.es/oai/indexg.php?registro=005200130289*.

Jiménez-Liso, M. R., Giménez-Caminero, M. R., Martinez-Chico, E., & Castillo-Hernández, F. (2019). El enfoque de enseñanza por indagación ayuda a diseñar secuencias: ¿Una rama es un ser vivo? En J. Solbes & M. R. Jiménez-Liso (Eds.), Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto (pp. 99–120). Tirant lo blanch. En *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto*. Tirant Humanidades. https://produccioncientifica.ugr.es/documentos/60379c01a28f0c5681f28691?lang=en

Jiménez-Liso, R. (2020). Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento (indagación). *Enseñando ciencia con ciencia, 2020, ISBN 978-84-010-5931-5, págs. 53-62*, 53-62. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8404386

Jimenez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martinez-Chico, M., & Lopez-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

Jiménez-Liso, M. R., Chico, M. M., & Lucio-Villegas, R. L.-G. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *20*(3), Article 3. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3801

Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Chico, M., & Lucio-Villegas, R. L.-G. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *20*(3), 380101-380123.

Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come. *Educational Researcher*, *33*(7), 14-26. https://doi.org/10.3102/0013189X033007014

Jones, M. (2017). "Preach or Teach?": An Ongoing Journey to Becoming STEPWISE. En L. Bencze (Ed.), *Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments: STEPWISE* (pp. 503-522). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8_23

Junta de Andalucía. (2023). *Orden de 30 de mayo de 2023, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad y a las diferencias individuales, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determina el proceso de tránsito entre las diferentes etapas educativas*. https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/104/36

Juškevičienė, A., Dagienė, V., & Dolgopolovas, V. (2021). Integrated activities in STEM environment: Methodology and implementation practice. *Computer Applications in Engineering Education*, *29*, 209-228. https://doi.org/10.1002/cae.22324

Juškevičienė, A., Stupurienė, G., & Jevsikova, T. (2021). Computational thinking development through physical computing activities in STEAM education. *Computer Applications in Engineering Education*, *29*(1), 175-190. https://doi.org/10.1002/cae.22365

Justi, R. (2011). Contribucions de la investigació didàctica a l'ensenyament de la química basat en la modelització. *Educació Química*, *8*, Article 8.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, *24*(4), 369-387. https://doi.org/10.1080/09500690110110142

Kala, N., Yaman, F., & Ayas, A. (2013). The effectiveness of predict–observe–explain technique in probing students' understanding about acid–base chemistry: a case for the concepts oF pH, pOH, and strength. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *11*(3), 555-574. https://doi.org/10.1007/s10763-012-9354-z

Kale, U., Akcaoglu, M., Cullen, T., Goh, D., Devine, L., Calvert, N., & Grise, K. (2018). Computational What? Relating Computational Thinking to Teaching. *TechTrends*, *62*, 574-584. https://doi.org/10.1007/s11528-018-0290-9

Kalelioglu, F., Gulbahar, Y., & Kukul, V. (2016). A Framework for Computational Thinking Based on a Systematic Research Review. *Baltic Journal of Modern Computing*, *4*(3), 583-596.

Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., & Camerer, C. F. (2009). The Wick in the Candle of Learning: Epistemic Curiosity Activates Reward Circuitry and Enhances Memory. Psychological Science, 20(8), 963-973. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02402.x

Kemmis, S., & McTaggart, R. (2005). Participatory Action Research: Communicative Action and the Public Sphere. En *The Sage handbook of qualitative research, 3rd ed* (pp. 559-603). Sage Publications Ltd.

Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014). *Engaging Students In STEM Education*. *Science Education International*. *25*, 246-258.

Kerr, D., & Huddleston, T. (2015). *La enseñanza de temas controvertidos*. *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte*. *Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades Centro Nacional de Innovación e Investigación Educativa*. https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/la-ensenanza-de-temas-controvertidos_181285/

Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, *40*(9), 898-921. https://doi.org/10.1002/tea.10115

Kim, D., & Bolger, M. (2017). Analysis of Korean Elementary Pre-Service Teachers' Changing Attitudes About Integrated STEAM Pedagogy Through Developing Lesson Plans. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *15*(4), 587-605. https://doi.org/10.1007/s10763-015-9709-3

Kim, H., & Chae, D. (2016). The Development and Application of a STEAM Program Based on Traditional Korean Culture. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(7). https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1539a

Kim, M. C., Hannafin, M. J., & Bryan, L. A. (2007). Technology-enhanced inquiry tools in science education: An emerging pedagogical framework for classroom practice. *Science Education*, *91*(6), 1010-1030. https://doi.org/10.1002/sce.20219

King, D. T. (2012, noviembre 8). *New perspectives on context-based chemistry education: Using a dialectical sociocultural approach to view teaching and learning*. *Studies in Science Education, 48(1), pp. 51-87. Http://dx.doi.org/10.1080/03057267.2012.655037*. https://web.archive.org/web/20171108141441/https://core.ac.uk/download/pdf/10909511.pdf

Koole, M., & Squires, V. (2021). *The Education System of Canada: ICT and STEM Balancing Economics with Social Justice* (pp. 1-22). https://doi.org/10.1007/978-3-319-93443-3_39-1

Koundouri, P., Boulton, A. J., Datry, T., & Souliotis, I. (2017). Chapter 5.2—Ecosystem Services, Values, and Societal Perceptions of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. En T. Datry, N. Bonada, & A. Boulton (Eds.), *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams* (pp. 455-476). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00018-8

Lajoie, S. P., Pekrun, R., Azevedo, R., & Leighton, J. P. (2020). Understanding and measuring emotions in technology-rich learning environments. *Learning and Instruction*, *70*, 101272. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101272

Larsson, K. (2017). Understanding and teaching critical thinking—A new approach. *International Journal of Educational Research*, *84*, 32-42. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2017.05.004

Latorre, A. (with del Rincón, D., & Arnal, J.). (2005). *Bases metodológicas de la investigación educativa* (1st ed). Experiencia, Ediciones.

Lave, J., & Wenger, E. (1991, septiembre 27). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Higher Education from Cambridge University Press; Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355

Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, *86*(3), 681-718. https://doi.org/10.3102/0034654315627366

Lechelt, S., Rogers, Y., & Marquardt, N. (2020). Coming to your senses: Promoting critical thinking about sensors through playful interaction in classrooms. *Proceedings of the Interaction Design and Children Conference*, 11-22. https://doi.org/10.1145/3392063.3394401

Lederman, D. J. S. (2009). Teaching scientific inquiry: Exploration, directed, guided, and opened-ended levels. *In National Geographic Science: Best Practices and Research Base. Hapton-Brown Publishers.*, (pp. 8-20).

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S., Jimenez, J., Acosta, K., Akubo, M., Aly, S., Andrade, M. A. B. S. de, Atanasova, M., Blanquet, E., Blonder, R., Brown, P., Cardoso, R., Castillo-Urueta, P., Chaipidech, P., Concannon, J., Dogan, O. K., El-Deghaidy, H., Elzorkani, A., … Wishart, J. (2021). International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: Is progress Being made? *International Journal of Science Education*, *43*(7), 991-1016. https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1894500

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, *51*(1), 65-83. https://doi.org/10.1002/tea.21125

Lee, C.-Y., Peng, L.-W., & Klemm, A. (2021). Effective Makerspaces in STEAM Secondary Education: What Do the Professionals Think? *Excellence in Education Journal*, *10*(2), 35-50.

Lee, I., Grover, S., Martin, F., Pillai, S., & Malyn-Smith, J. (2020). Computational Thinking from a Disciplinary Perspective: Integrating Computational Thinking in K-12 Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education. *Journal of Science Education and Technology*, *29*(1), 1-8. https://doi.org/10.1007/s10956-019-09803-w

Lefkos, I., & Mitsiaki, M. (2021). Users' Preferences for Pedagogical e-Content: A Utility/Usability Survey on the Greek Illustrated Science Dictionary for School. En T. Tsiatsos, S. Demetriadis, A. Mikropoulos, & V. Dagdilelis (Eds.), *Research on E-Learning and ICT in Education: Technological, Pedagogical and Instructional Perspectives* (pp. 197-217). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64363-8_11

Lehtamo, S., Juuti, K., Inkinen, J., & Lavonen, J. (2018). Connection between academic emotions in situ and retention in the physics track: Applying experience sampling method. *International Journal of STEM Education*, *5*(1), 25. https://doi.org/10.1186/s40594-018-0126-3

Lei, J., Luo, P. H., Wang, Q., Shen, J., Lee, S., & Chen, Y. (2016). Using Technology to Facilitate Modeling-Based Science Education: Lessons Learned from a Meta-analysis of Empirical Research. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*, *9*(2). https://doi.org/10.18785/jetde.0902.04

Levin, L. R., & Buck, J. (2015). Physiological Roles of Acid-Base Sensors. Annual Review of Physiology, 77(Volume 77, 2015), 347-362. https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021014-071821

Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2020a). Computational Thinking Is More about Thinking than Computing. *Journal for STEM Education Research*, *3*(1), 1-18. https://doi.org/10.1007/s41979-020-00030-2

Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2020b). On Computational Thinking and STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, *3*(2), 147-166. https://doi.org/10.1007/s41979-020-00044-w

Liang, Y.-C., Lin, K. H.-C., & Li, C.-T. (2021). Employing STEAM 6E Teaching Methods to Analyze the Academic Emotions of the Digital Video Practice Course. En Y.-M. Huang, C.-F. Lai,

& T. Rocha (Eds.), *Innovative Technologies and Learning* (pp. 584-592). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91540-7_60

Lin, J.-W., & Chiu, M.-H. (2007). Exploring the characteristics and diverse sources of students' mental models of acids and bases. *International Journal of Science Education*, *29*(6), 771-803. Scopus. https://doi.org/10.1080/09500690600855559

Lin, Y.-T., Yeh, M. K.-C., & Hsieh, H.-L. (2021). Teaching computer programming to science majors by modelling. *Computer Applications in Engineering Education*, *29*(1), 130-144. https://doi.org/10.1002/cae.22247

Lincoln, D., & Kearney, M.-L. (2019). The role of emotions in higher education teaching and learning processes. *Studies in Higher Education*, *44*(10), 1707-1708. https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1665301

Liso, M., Torres, E., González-García, F., & López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: Aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias : revista de investigación y experiencias didácticas; Vol.: 18 Núm.: 3*, *18*. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4031

Liu, J., Xia, X., Bai, Y., & Liu, P. (2022). A Study of Micro:bit Teaching Design Based on the Development of Computational Thinking of Secondary School Students. *2022 4th International Conference on Computer Science and Technologies in Education (CSTE)*, 198-201. https://doi.org/10.1109/CSTE55932.2022.00043

Liu, X. (2013). Expanding Notions of Scientific Literacy: A Reconceptualization of Aims of Science Education in the Knowledge Society. En N. Mansour & R. Wegerif (Eds.), *Science Education for Diversity: Theory and Practice* (pp. 23-39). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4563-6_2

Loderer, K., Pekrun, R., & Lester, J. C. (2020). Beyond cold technology: A systematic review and meta-analysis on emotions in technology-based learning environments. *Learning and Instruction*, *70*, 101162. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.08.002

López-Banet, L., Aguilera, D., Jiménez-Liso, M., & Perales-Palacios, F. J. (2021). Emotional and Cognitive Preservice Science Teachers' Engagement While Living a Model-Based Inquiry Science Technology Engineering Mathematics Sequence About Acid-Base. *Frontiers in Psychology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.719648

López-Facal, R. (2011). Conflictos sociales candentes en el aula. *Les Qüestions socialment vives i l'ensenyament de les ciències socials*, 65-76.

López-Gay, R., Hernández Villalobos, L., Rodríguez Arteche, I., Delgado Mayoral, L., González Herrera, M., García Ruiz, J., Martínez-Chico, M., & Nieto Ramos, M. (2024). *Autopercepción de aprendizaje y emociones de futuros maestros durante una secuencia de indagación. 31 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales."Hacia una educación científica alineada con la Agenda 2030"—75. Págs. 389-395.* https://libros.ubu.es/plugins/generic/pdfJsViewer/pdf.js/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Flibros.ubu.es%2Fservpubu-acceso-abierto%2Fcatalog%2Fdownload%2F68%2F60%2F75%3Finline%3D1#%5B%7B%22num%22%3A932%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C82%2C778%2C0%5D

López-Lozano, J. M., Cortés-De las Heras, J., García-Pérez, J. B., Márquez-Ordóñez, A., Molina-Prieto, J., Rodríguez-Cabrera, J. J., Valle-López, J., & Vergara-Ramírez, J. J. (2022). *Material visual AVFP del Curso «Diseño Situaciones de Aprendizaje en Andalucía». Consejería de Desarrollo Educativo y Formación Profesional. D.G. de Tecnologías Avanzadas y Transformación Educativa. Servicio de Planes de Formación. Junta de Andalucía*. Genially. https://view.genially.com/6357b68432abe00019045bb9/presentation-material-visual-avfp-diseno-situaciones-de-aprendizaje-en-andalucia

Lupión-Cobos, T., & 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

Lupión-Cobos, T., García-Ruiz, C., & Torres-Blanco, V. (2020). *Proyecto IndagaSTEAM Escuela: Retos y oportunidades para promover capacidades científicas mediante talleres de indagación con el alumnado del tercer ciclo de Educación Primaria*. https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/34831

Mang, H. M. A., Chu, H., Martin, S., & Kim, C.-J. (2021). An SSI-Based STEAM Approach to Developing Science Programs. *Asia-Pacific Science Education*. https://doi.org/10.1163/23641177-bja10036

Márquez, C., & Puig, N. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: Del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, *1*, 4-16. https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020

Martín Cáceres, M. J., Estepa Giménez, J., & 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, 2022, ISBN 978-84-19071-10-1, págs. 363-370*, 363-370. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8599782

Martín Cáceres, M. J., Estepa Giménez, J., & 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, 2021, ISBN 978-84-18615-91-7, págs. 109-122*, 109-122. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8482466

Martín-Cáceres, M., Estepa, J., & Cuenca-Lopez, 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. (Pp. 109-121). Editorial Octaedro*. (1st ed). Octaedro, Ediciones.

Martín-Cáceres, M., Estepa, J., & 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, 2022, ISBN 978-84-19071-10-1, págs. 363-370*, 363-370. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8599782

Martín-Cáceres, M. J., & and Cuenca-López, J. M. (2016). Communicating heritage in museums: Outlook, strategies and challenges through a SWOT analysis. *Museum Management and Curatorship*, *31*(3), 299-316. https://doi.org/10.1080/09647775.2016.1173576

Martín-Cudero, D., Cid-Cid, A. I., & Guede-Cid, R. (2024). Analysis of mathematics education from a STEAM approach at secondary and pre-universitary educational levels: A systematic review. *Journal of Technology and Science Education*, *14*(2), Article 2. https://doi.org/10.3926/jotse.2349

Martínez Miguélez, M. (2007). *La investigación cualitativa etnográfica en educación: Manual teórico-práctico*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=632861

Martinez-Borreguero, G., Mateos-Nuñez, M., & Naranjo-Correa, F. L. (2019). Analysis of the emotions of secondary school students in stem areas. *EDULEARN19 Proceedings*, 724-733. 11th International Conference on Education and New Learning Technologies. https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.0245

Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, *69*, 34-37.

Mateos-Núñez, M. (2021). *Diseño y validación de metodologías didácticas aplicadas en el aula de educación primaria para mejorar el dominio cognitivo y emocional en la enseñanza/aprendizaje de competencias stem* (p. 1) [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Extremadura]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=302259

Maurín Álvarez, M. (2016). Riotinto como colonia inglesa: El orden territorial y el paisaje minero-industrial. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, *99-100*, 265-284.

Mayhew, M. J., Wolniak, G. C., & Pascarella, E. T. (2008). How Educational Practices Affect the Development of Life-long Learning Orientations in Traditionally-aged Undergraduate Students. *Research in Higher Education*, *49*(4), 337-356. https://doi.org/10.1007/s11162-007-9081-4

Mega, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, *106*(1), 121-131. https://doi.org/10.1037/a0033546

Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., & Cañada, F. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *32*(3), Article 3. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478

Mellado, V., Borrachero, A., Brigido, M., Melo Niño, L., Dávila Acedo, M. A., Cañada Cañada, F., Conde, C., Costillo Borrego, E., Cubero, J., Gallego, R., Martínez Borreguero, G., Ruiz, C., Sánchez-Martín, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez-Bernal, B., Perez, R., & Bermejo, M. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias* Emotions in Science teaching. *Enseñanza de las Ciencias*, *32*, 11-36. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478

Merriam, S. B. (1988). *Case study research in education: A qualitative approach* (pp. xx, 226). Jossey-Bass.

Miedes, B., Sánchez-López, C., & Moreno-Moreno, A. (2014). *Escenarios alternativos para las TICs y el conocimiento territorial en el marco de las transiciones socioecológicas: Smart Cities e inteligencia territorial ¿hacia una sociedad del "buen conocer"? En Actas del II Congreso Internacional en Contextos Diversos (IICIED). Universidad de Huelva*. https://www.uhu.es/IICIED/actas.php

Mineduc (UCE). (2009). *Ajuste Curricular: Principales énfasis y modificaciones curriculares para continuar fortaleciendo el aprendizaje de los alumnos y alumnas del país*. http://bibliotecadigital.mineduc.cl//handle/20.500.12365/18129

Monjelat, N. (2019). Programming Technologies for Social Inclusion With Scratch: Computational Practices in a Teacher's Professional Development Course. *Revista Electrónica Educare*, *23*(3), 182-206. https://doi.org/10.15359/ree.23-3.9

Monroy Mejía, M. de los Á., & Nava Sánchezllanes, N. (2015). *Métodos y pensamiento crítico I*. https://elibro.net/es/ereader/uhu/173507

Moore, T. (2013). Critical thinking: Seven definitions in search of a concept. *Studies in Higher Education*, *38*(4), 506-522. https://doi.org/10.1080/03075079.2011.586995

Morillo Moreno, J. C. (2025). *Guías de la BUH: Repositorio Arias Montano: AM, rankings y calidad*. https://guiasbuh.uhu.es/AriasMontano/rankings

Muñoz, R. F. Z., Alegría, J. A. H., & Robles, G. (2023a). Assessment of Computational Thinking Skills: A Systematic Review of the Literature. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje*, *18*(4), 319-330. https://doi.org/10.1109/RITA.2023.3323762

Muñoz, R. F. Z., Alegría, J. A. H., & Robles, G. (2023b). Assessment of Computational Thinking Skills: A Systematic Review of the Literature. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje*, *18*(4), 319-330. https://doi.org/10.1109/RITA.2023.3323762

Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A. J., & Blanco-López, Á. (2020). Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de estudiantes de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *17*(3), 1-24. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201

Nacaroğlu, O., Kızkapan, O., & Demir, H. (2025). Middle School Students' Motivations and Learning Competencies in Science: Mediating Role of Digital Literacy. *Psychology in the Schools*, *62*(5), 1475-1487. https://doi.org/10.1002/pits.23400

Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and ph concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, *31*(10), 1077-1096. https://doi.org/10.1002/tea.3660311004

National curriculum in England: Computing programmes of study. (s. f.). GOV.UK. Recuperado 29 de mayo de 2024, de https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study

National Science Education Standards (with NRC). (1996). National Academies Press. https://doi.org/10.17226/4962

NGSS. (2013). *Next Generation Science Standards. Conceptual Shifts in the Next Generation Science Standards. Appendix A - 4.11.13*. https://www.nextgenscience.org/search-standards

Nieto, J. M., & Olías, M. (2021, julio 20). *Ríos rojos: El problema ambiental de las aguas ácidas de mina*. The Conversation. http://theconversation.com/rios-rojos-el-problema-ambiental-de-las-aguas-acidas-de-mina-163947

Nilyani, K., Asrizal*, A., & Usmeldi, U. (2023). Effect of STEM Integrated Science Learning on Scientific Literacy and Critical Thinking Skills of Students: A Meta-Analysis. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i6.2614

NRC. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington, D.C. : National Academy Press. http://archive.org/details/inquirynationals0000unse

NRC. (2011). *Report of a Workshop on the Scope and Nature of Computational Thinking. Committee for the Workshops on Computational Thinking; National Research Council*. https://doi.org/10.17226/12840

NRC, (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (p. 13165). National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13165

OECD. (2008). *Informe PISA 2006: Competencias científicas para el mundo del mañana: Datos*. OECD. https://doi.org/10.1787/9789264066205-es

OECD. (2019). *OECD Future of Education and Skills 2030. The OECD Learning Compass 2030: A series of concept notes*. OECD. https://www.oecd.org/en/data/tools/oecd-learning-compass-2030.html

OECD. (2023a). *Agency in the Anthropocene: Supporting document to the PISA 2025 Science Framework* (OECD Education Working Papers No. 297; OECD Education Working Papers, Vol. 297). https://doi.org/10.1787/8d3b6cfa-en

OECD. (2023b). *PISA 2025 Science Framework (DRAFT)*.

Ogegbo, A. A., & Ramnarain, U. (2022). A systematic review of computational thinking in science classrooms. *Studies in Science Education*, *58*(2), 203-230. https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963580

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, *33*(8), 1109-1130. https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191

Olalla-García, Raposo, M., & Martínez-Figueira, M. E. (2024). El enfoque educativo STEAM: una revisión de la literatura. Revista Complutense de Educación, 34(1), 191-202. *ResearchGate*. https://doi.org/10.5209/rced.77261

Olías, M., & Nieto, J. M. (2014). Comment on "Identification of the subsurface sulfide bodies responsible for acidity in Río Tinto source water, Spain" by Gómez-Ortiz et al. (Earth Planet. Sci. Lett. 391 (2014) 36–41). *Earth and Planetary Science Letters*, *403*, 456-458. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.049

Oliva, J. M. (2019a). Different definitions for the idea of modeling in science education. *Ensenanza de Las Ciencias*, *37*(2), 5-24. Scopus. https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648

Oliva, J. M. (2019b). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *37*(2), Article 2. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648

Oliva, J. M. (2021). Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, *5*(2), Article 2. https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7629

Oliva, J. M., & Aragón-Méndez, M. del M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: Marco teórico. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *27*(2), Article 2. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3731

Olivares de Julián, P., Ruíz Oliva, A., Zimmerman, Jose Luis, Mateos, J. A., Salazar Sabaté, F., Moreno León, J., Muntaner Perich, E., & Gómez Ortega, A. (2016, abril 20). *Educación de las Ciencias de la Computación en España* [Text]. FECYT. https://www.fecyt.es/es/publicacion/educacion-de-las-ciencias-de-la-computacion-en-espana

ONU. (2015). *Asamblea General: Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A/RES/70/1. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015*. https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/93/pdf/n1529193.pdf

Orden de 30 de mayo de 2023, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad y a las diferencias individuales, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determina el proceso de tránsito entre las diferentes etapas educativas. (s. f.-a). Recuperado 21 de marzo de 2025, de https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/104/36

Ortega-Ruipérez, B. (2020). Pedagogía del Pensamiento Computacional desde la Psicología: Un Pensamiento para Resolver Problemas. *Cuestiones Pedagógicas. Revista de Ciencias de la Educación*, *2*(29), Article 29. https://doi.org/10.12795/CP.2020.i29.v2.10

Osborne, J. (2014). Teaching critical thinking? New directions in science education. *School Science Review*, *95*(352), 53-62.

Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*.

Ozkan, G., & Umdu-Topsakal, U. (2021). Exploring the effectiveness of STEAM design processes on middle school students' creativity. *International Journal of Technology and Design Education*, *31*(1), 95-116. https://doi.org/10.1007/s10798-019-09547-z

P21. (2009). *Partnership for 21st Century Skills. P21 Framework Definitions*. Partnership for 21st Century Skills. https://eric.ed.gov/?id=ED519462

Pace, J. L. (2021). *Hard Questions: Learning to Teach Controversial Issues*. Rowman & Littlefield.

Padrón, N. P., Planchart, S. F., & Reina, M. F. (2021). Aproximación a una definición de pensamiento computacional. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *24*(1), Article 1. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27419

Pagès, J. (2019). Ciudadanía global y enseñanza de las Ciencias Sociales: Retos y posibilidades para el futuro Global citizenship and social science education: challenges and future possibilities. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, *5*, 5-22. https://doi.org/10.17398/2531-0968.05.5

Palacios, L. L., Rite, M. T., & Soto, N. A. R. (2023). Patrimonio y emociones en el alumnado de ESO: Análisis de una experiencia en el museo. *REIDICS. Revista de Investigación en Didáctica de las Ciencias Sociales*, *12*, Article 12. https://doi.org/10.17398/2531-0968.12.09

Pan, H., & Henriques, L. (2015). Students' Alternate Conceptions on Acids and Bases. *School Science and Mathematics*, *115*(5), 237-243. https://doi.org/10.1111/ssm.12124

Papaevripidou, M., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2014). *On Defining and Assessing Learners' Modeling Competence in Science Teaching and Learning*.

Papavlasopoulou, S., Sharma, K., & Giannakos, M. N. (2020). Coding activities for children: Coupling eye-tracking with qualitative data to investigate gender differences. *Computers in Human Behavior*, *105*, 105939. https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.03.003

Papert, S. (with Internet Archive). (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York : Basic Books. http://archive.org/details/mindstorms00seym

Papert, S. (1987). *Desafío a la mente: Computadoras y educación*. Galápago.

Park, H., Byun, S., Sim, J., Han, H.-S., & Baek, Y. S. (2016). Teachers' Perceptions and Practices of STEAM Education in South Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(7), 1739-1753. https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1531a

Parker, J. N., & Hackett, E. J. (2012). Hot Spots and Hot Moments in Scientific Collaborations and Social Movements. *American Sociological Review*, *77*(1), 21-44. https://doi.org/10.1177/0003122411433763

Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, *109*(7), 394-402. https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17870.x

Paucar-Curasma, R., Villalba-Condori, K. O., Mamani-Calcina, J., Rondon, D., Berrios-Espezúa, M. G., & Acra-Despradel, C. (2023). Use of Technological Resources for the Development of Computational Thinking Following the Steps of Solving Problems in Engineering Students Recently Entering College. *Education Sciences*, *13*(3), 279. https://doi.org/10.3390/educsci13030279

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, *14*, 47-61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Pedaste, M., Palts, T., Kori, K., Sormus, M., & Leijen, A. (2019). Complex Problem Solving as a Construct of Inquiry, Computational Thinking and Mathematical Problem Solving. En M. Chang, D. Sampson, R. Huang, A. Gomes, N. Chen, I. Bittencourt, Kinshuk, D. Dermeval, & I. Bittencourt (Eds.), *2019 IEEE 19TH International conference on advanced learning technologies (ICALT 2019)* (pp. 227-231). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICALT.2019.00071

Pekrun, R. (2000). 7—A Social-Cognitive, Control-Value Theory of Achievement Emotions. En J. Heckhausen (Ed.), *Advances in Psychology* (Vol. 131, pp. 143-163). North-Holland. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(00)80010-2

Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic Emotions in Students' Self-Regulated Learning and Achievement: A Program of Qualitative and Quantitative Research. *Educational Psychologist*, *37*(2), 91-105. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_4

Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational Psychology Review*, *18*(4), 315-341. https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9

Pekrun, R., & Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic Emotions and Student Engagement. En S. L. Christenson, A. L. Reschly, & C. Wylie (Eds.), *Handbook of Research on Student Engagement* (pp. 259-282). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_12

Pekrun, R., & Stephens, E. J. (2010). Achievement Emotions: A Control-Value Approach. *Social and Personality Psychology Compass*, *4*(4), 238-255. https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2010.00259.x

Pérez-Bueno, B., De Las Heras Pérez, M. Á., & Jiménez-Pérez, R. (2024). Enfoques académicos de las emociones hacia la Física en maestros en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *42*(2), 45-66. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6011

Persky, A. M., Medina, M. S., & Castleberry, A. N. (2019). Developing Critical Thinking Skills in Pharmacy Students. *American Journal of Pharmaceutical Education*, *83*(2), 7033. https://doi.org/10.5688/ajpe7033

Pertiwi, W. A., Kusairi, S., Kusumawati, A. D., Shanthie, A. P. K., & Haeruman, L. D. (2023). Profile of scientific argumentation of elementary school teachers using Toulmin's Argumentation Pattern (TAP) in Physics concept of potable water sources. *Journal of Physics: Conference Series*, *2596*(1), 012077. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012077

Philips, P. (2009). *Computational Thinking, a problem solving tool for every classroom—CS & IT Symposium 2008*. Studylib.Net. https://studylib.net/doc/8116632/computational-thinking---csta

Piaget, J., & Inhelder, B. (with Delval, J.). (1970). *Psicología del niño* (18ª ed., nueva ed. completamente rev). Morata.

Pineda, J. A., Navarro Medina, E., & Alba Fernández, N. de. (2017). *El desarrollo profesional docente para formar a niños y niñas en el ejercicio de una ciudadanía activa. Algunas estrategias de investigación*. Universidad de Córdoba : Asociación Universitaria de Profesorado de Didáctica de las Ciencias Sociales. http://hdl.handle.net/11441/57662

PNCD. (2025). *Plan nacional de competencias digitales—Generación D. Gobierno de España*. https://generaciond.gob.es/plan-nacional

Polat, H., & Emre, F. (2020). The effect of argumentation method on critical thinking tendency, logical thinking abilities and academic achievement of science teacher candidates / argümantasyon yöntemine dayali laboratuvar etkinliklerinin fen bilgisi öğretmen adaylarinin eleştirel düşünme eğilimi, mantiksal düşünme becerileri ve. *European Journal of Education Studies*, *7*. https://doi.org/10.46827/EJES.V7I10.3296

Polya. (1945). *How To Solve It*. http://archive.org/details/polya-how-to-solve-it

Pozuelo-Munoz, J., Calvo-Zueco, E., Sanchez-Sanchez, E., & Cascarosa-Salillas, E. (2023). Science Skills Development through Problem-Based Learning in Secondary Education. *Education Sciences*, *13*(11), 1096. https://doi.org/10.3390/educsci13111096

Priest, S. (2013). Critical Science Literacy: What Citizens and Journalists Need to Know to Make Sense of Science. *Bulletin of Science, Technology & Society*, *33*(5-6), 138-145. https://doi.org/10.1177/0270467614529707

Puig, B., & Ageitos, N. (2023). Biología y geología en la LOMLOE. *Nuevo currículo, nuevos desafíos educativos: Tus proyectos, tus recursos, 2023, págs. 403-428*, 403-428. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9559018

Puig, B., Crujeiras Pérez, B., Blanco Anaya, P., Aznar Cuadrado, V., Cambeiro Cambeiro, F., García Seijo, M. I., & Villar López, M. (2023). Pensar cientificamente: Problemas sistémicos e acción crítica. *Boletín das ciencias*, *36*(96), 93-94.

Purwanto, Y. P. B., Masykuri, M., Soeparmi, & Elisanti, E. (2019). Analysis of Science Students Critical Thinking Skill in Junior High School. *Journal of Physics: Conference Series*, *1233*(1), 012086. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012086

Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a Conceptual Model of STEAM Teaching Practices. *School Science and Mathematics*, *117*(1-2), 1-12. https://doi.org/10.1111/ssm.12201

Quiroz-Vallejo, D. A., Carmona-Mesa, J. A., Castrillón-Yepes, A., & Villa-Ochoa, J. A. (2021). Integration of Computational Thinking in Elementary and Secondary School in Latin America: A Systematic Literature Review. *Revista de Educación a Distancia*, *21*(68). Scopus. https://doi.org/10.6018/red.485321

Raj, T., Chauhan, P., Mehrotra, R., & 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., & 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

Ratnawati, S., & Sriyanto, S. (2022). Metode STEAM sebagai Inovasi Pembelajaran IPS Di Era Abad 21. *Proceedings Series on Social Sciences and Humanities*. https://doi.org/10.30595/pssh.v3i.400

Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria, Pub. L. No. Real Decreto 157/2022, BOE-A-2022-3296 24386 (2022). https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/01/157

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, Pub. L. No. Real Decreto 217/2022, BOE-A-2022-4975 41571 (2022). https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217

Reese, R., & Jones, B. (2010). *Improving the effectiveness of microcontroller education* (p. 175). https://doi.org/10.1109/SECON.2010.5453894

Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B., & Kafai, Y. (2009). Scratch: Programming for all. *Commun. ACM*, *52*(11), 60-67. https://doi.org/10.1145/1592761.1592779

Retana Alvarado, D., Pérez, M., Vázquez-Bernal, B., & Perez, R. (2023). El cambio en las emociones de futuros maestros en la interacción con una enseñanza de las ciencias basada en indagación. *Tecné Episteme y Didaxis TED*, 137-159. https://doi.org/10.17227/ted.num53-13772

Reyes-Cárdenas, F., & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación química*, *23*(4), 415-421.

Ridwan, A., Rahmawati, Y., Mardiah, A., & Rifai, A. (2020). Developing 22nd century skills through the integration of STEAM into smoke absorber project. *Journal of Physics: Conference Series*, *1521*(4), 042077. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042077

Ritchie, S. M., Tomas, L., & Rigano, D. (2016). Students' regulation of their emotions in a science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, *53*(2), 234-260. https://doi.org/10.1002/tea.21304

Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy. En *Handbook of Research on Science Education*. Routledge.

Rodriguez, A. J., Mark, S. L., & Nazar, C. (2022). Gazing Inward in Support of Critical Scientific Literacy. *Journal of Science Teacher Education*, *33*, 125-130. https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.2009973

Rodriguez, A. J., Mark ,Sheron, & and Nazar, C. R. (2022). Gazing Inward in Support of Critical Scientific Literacy. *Journal of Science Teacher Education*, *33*(2), 125-130. https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.2009973

Rodríguez-Marín, F. J. (2007). Una historia, un libro, una película: El corazón de la tierra. *Isla de Arriarán: revista cultural y científica*, *29*, 247-252.

Roman-González, M. (2016). Computational thinking test: design guidelines and content validation. Proceedings of Edulearn15 Conference. Spain. *Proceedings of Edulearn15 Conference*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4203.4329

Román-González, M., Pérez-González, J.-C., & Jiménez-Fernández, C. (2017). Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test. *Computers in Human Behavior*, *72*, 678-691. https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.047

Romero Fernández, R., González Castanedo, Y., Heras Pérez, M. Á. de las, & Retana Alvarado, D. A. (2023). Motivación y emociones en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales. *Cómo mejorar el clima motivacional en las aulas, 2023, ISBN 978-84-9127-225-0, págs*. *37-52*, 37-52. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9337788

Rubinstein, A., & Chor, B. (2014). Computational Thinking in Life Science Education. *PLoS Computational Biology*, *10*(11), e1003897. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003897

Ruiz Ortega, F. J., Tamayo Alzate, O. E., & 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., & 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

Sadler, T. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, *45*, 1-42. https://doi.org/10.1080/03057260802681839

Sadler, T., & Dawson, V. (2012). Second International Handbook of Science Education. En *Second International Handbook of Science Education* (pp. 799-809). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_53

Sadler, T., Romine, W., & Topçu, M. S. (2016). Learning science content through socio-scientific issues-based instruction: A multi-level assessment study. *International Journal of Science Education*, *38*, 1622-1635. https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1204481

Sáenz-López Buñuel, P. (2020). *Educar emocionando*. Universidad de Huelva.

Sampedro-Martín, S., Arroyo Mora, E., Cuenca López, J. M., & Martín Cáceres, M. J. (2023). *Controversial heritage for eco-citizenship education in Social Science didactics Implications for initial teacher education*. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9781003289470-7

Sampedro-Martín, S. (2024). *Enseñar a enseñar los patrimonios controversiales: El Diálogo Cívico Gamificado en la formación inicial docente* (p. 1)

[Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Huelva]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=361705

Sampedro-Martín, S., Arroyo-Mora, E., Cuenca-López, J. M., & Martín-Cáceres, M. J. (2022). Controversial heritage for eco-citizenship education in Social Science didactics. En C. J. Gómez Carrasco, *Re-imagining the Teaching of European History* (1.ª ed., pp. 68-79). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003289470-7

Sánchez-García, L., Fernández-Martínez, M. A., Moreno-Paz, M., Carrizo, D., García-Villadangos, M., Manchado, J. M., Stoker, C. R., Glass, B., & Parro, V. (2020). Simulating Mars Drilling Mission for Searching for Life: *Ground-Truthing* Lipids and Other Complex Microbial Biomarkers in the Iron-Sulfur Rich Río Tinto Analog. *Astrobiology*, *20*(9), 1029-1047. https://doi.org/10.1089/ast.2019.2101

Sánchez-Ludeña, E. (2019). La educación STEAM y la cultura «maker». *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, *379*, Article 379. https://doi.org/10.14422/pym.i379.y2019.008

Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, STEMmania. *Technology Teacher*, *68*(4), 20-26.

Santacana, J., & Martínez, T. (2018). El patrimonio cultural y el sistema emocional: Un estado de la cuestión desde la didáctica. *Arbor*, *194*(788), Article 788. https://doi.org/10.3989/arbor.2018.788n2006

Scherer, K. R., & Moors, A. (2019). The Emotion Process: Event Appraisal and Component Differentiation. *Annual Review of Psychology*, *70*(Volume 70, 2019), 719-745. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011854

Schwab, J. (1962). *The Teaching of science: The teaching of science as enquiry. Elements in a strategy for teaching science in the elementary school. Cambridge, Harvard University Press, 1962*. https://searchworks.stanford.edu/view/6307245

Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*, 632-654. https://doi.org/10.1002/TEA.20311

Scratch Foundation. (2024). *About Scratch*. https://scratch.mit.edu/

Shaw, A., Liu, O. L., Gu, L., Kardonova, E., Chirikov, I., Li, G., Hu, S., Yu, N., Ma, L., Guo, F., Su, Q., Shi, J., Shi, H., & Loyalka, P. (2019). Thinking critically about critical thinking: Validating the Russian HEIghten® critical thinking assessment. *Studies in Higher Education*, *45*. https://doi.org/10.1080/03075079.2019.1672640

Sheppard, K. (2006a). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, *7*(1), 32-45. https://doi.org/10.1039/B5RP90014J

Sheppard, K. (2006b). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, *7*(1), 32-45. https://doi.org/10.1039/B5RP90014J

Siarova, H., Sternadel, D., & Szőnyi, E. (2019). *Research for CULT Committee – Science and Scientific Literacy as an Educational Challenge. European Parliament's Committee on Culture and Education*.

Simarro, C., & Couso, D. (2022). Didáctica de la ingeniería: Tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, *40*(3), 147-164. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3507

Simons, H. (with Internet Archive). (2009). *Case study research in practice*. Los Angeles ; London : SAGE. http://archive.org/details/casestudyresearc0000simo

Siswaningsih, W., Nahadi, & Chandratika, V. (2020). *Profile of Misconception in Senior High School Students on the Concept of Acid-Base Strength*. Proceedings of the 7th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar, MSCEIS 2019. Scopus. https://doi.org/10.4108/eai.12-10-2019.2296380

Sjöström, J. (2013). Towards «Bildung»-Oriented Chemistry Education. *Science & Education*, *22*(7), 1873-1890.

Sjöström, J., Frerichs ,Nadja, Zuin ,Vânia G., & and Eilks, I. (2017). Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, *53*(2), 165-192. https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1384649

Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering Different Visions of Scientific Literacy and Science Education Based on the Concept of Bildung. En Y. J. Dori, Z. R. Mevarech, & D. R. Baker (Eds.), *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education: Learning, Teaching and Assessment* (pp. 65-88). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_4

Sjöström, J. (2024). Vision III of scientific literacy and science education: An alternative vision for science education emphasising the ethico-socio-political and relational-existential. *Studies in Science Education*, *0*(0), 1-36. https://doi.org/10.1080/03057267.2024.2405229

Solbes, J. A., & 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

Soroko, N. (2020). *Methodology for Teachers' Digital Competence Developing through the Use of the STEAM-oriented Learning Environment*. ICTERI Workshops. https://www.semanticscholar.org/paper/Methodology-for-Teachers'-Digital-Competence-the-of-Soroko/4e326b21746047ca60ed97bb46fa1ec051cee441?utm_source=consensus

Soysal, Y. (2021). Talking Science: Argument-Based Inquiry, Teachers' Talk Moves, and Students' Critical Thinking in the Classroom. *Science & Education*. https://doi.org/10.1007/s11191-020-00163-1

Stake, R. E. (1995). *The art of case study research* (pp. xv, 175). Sage Publications, Inc.

Sutiani, A., Situmorang, M., & Silalahi, A. (2021). Implementation of an Inquiry Learning Model with Science Literacy to Improve Student Critical Thinking Skills. *International Journal of Instruction*, *14*(2), 117-138. https://doi.org/10.29333/iji.2021.1428a

Tang, K.-S., & Williams, P. J. (2019). STEM literacy or literacies? Examining the empirical basis of these constructs. *Review of Education*, *7*(3), 675-697. https://doi.org/10.1002/rev3.3162

Taylor, P. C. (2016). *Why is a STEAM curriculum perspective crucial to the 21st century? 14th Annual conference of the Australian Council for Educational Research*.

Teague, R. (2024). Wondering and Epistemic Desires. *The Philosophical Quarterly*. https://doi.org/10.1093/pq/pqad124

Teixeira-Dias, J., Pedrosa-de-Jesus, H., De Souza, F., & Watts, D. (2005). Teaching for quality learning in chemistry. *International Journal of Science Education*, *27*, 1123-1137. https://doi.org/10.1080/09500690500102813

Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, *5*(2), Article 2. https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613

The Royal Society. (2012). *Shut down or restart? | Royal Society*. https://royalsociety.org/topics-policy/projects/computing-in-schools/report/

Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, *3*. https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525

Tippett, C. D., Milford, T. M., & Yore, L. D. (2019). Epilogue: The Current Context of Canadian Science Education and Issues for Further Consideration. En C. D. Tippett & T. M. Milford (Eds.), *Science Education in Canada: Consistencies, Commonalities, and Distinctions* (pp. 311-337). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06191-3_15

Toma, R. B., & Greca Dufranc, I. M. (2017). Modelo interdisciplinar de educación STEM para la etapa de educación primaria. *La enseñanza de las ciencias en el actual contexto educativo, 2017, ISBN 978-84-15524-34-2, págs. 391-396*, 391-396. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7619240

Toma, R. B., Lederman, N., Jimenez, J., & Meneses Villagrá, J. Á. (2019). *Exploring students' acceptance of coding activities during integrative STEM lessons. NARST 2019 Annual International Conference*.

Toma, R. B., & 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), Article 1. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093

Tortosa Moreno, M., & Oro, J. (2011). El uso de sensores y equipos de captación de datos en los trabajos prácticos. *Física y química: investigación, innovación y buenas prácticas, 2011, ISBN 978-84-9980-081-3, págs. 131-152*, 131-152. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3702951

Toulmin, S. (2003). *The uses of argument* (Updated ed). Cambridge University Press.

Trabajo, M. T., & Cuenca-López, J. M. (2022). Educación Patrimonial y sostenibilidad: Un estudio de caso en enseñanza Secundaria Obligatoria. *Educação & Sociedade*, *43*, e255220. https://doi.org/10.1590/es.255220

Trejos-Buriticá, O. I. (2019). IPO: A methodology for solving problems using computational thinking. *Revista EIA*, *16*(32), 85-96. https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1266

Trust, T. (2017). Preparing K–12 Students and Preservice Educators for an Uncertain Future. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *33*(3), 88-88. https://doi.org/10.1080/21532974.2017.1316152

Tunc, C., & Bagceci, B. (2020). Teachers' Views of the Implementation of STEM Approach in Secondary Schools and The Effects on Students. *Pedagogical Research*, *6*(1), em0085. https://doi.org/10.29333/pr/9295

Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N. M., & Malik, A. S. (2017). The Influences of Emotion on Learning and Memory. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1454. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01454

Ultay, N., & Calik, M. (2012). A Thematic Review of Studies into the Effectiveness of Context-Based Chemistry Curricula. *Journal of Science Education and Technology*, *21*(6), 686-701. https://doi.org/10.1007/s10956-011-9357-5

UNESCO. (2020). *Education in a post-COVID world: Nine ideas for public action. International Comission on the Futures of Education. Paris, UNESCO*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373717/PDF/373717eng.pdf.multi

UNESCO. (2024). *Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2023: Tecnología en la educación: ¿una herramienta en los términos de quién? - UNESCO Biblioteca Digital https://doi.org/10.54676/NEDS2300*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388894

Valladares, L. (2021). Scientific Literacy and Social Transformation. *Science & Education*, *30*(3), 557-587. https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2

Valverde, J. V., Sánchez, M. R. F., & Arroyo, M. del C. G. (2015). El pensamiento computacional y las nuevas ecologías del aprendizaje. *RED. Revista de Educación a Distancia*, *46*, 1-18.

Vázquez Bernal, B. (2005). *La interacción entre la reflexión y la práctica en el desarrollo profesional de profesores de Ciencias Experimentales de Enseñanza Secundaria: Estudio de casos* [Doctoral thesis]. https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/2227

Vergara, C., & Cofré, H. (2012). *La Indagación Científica: Un concepto esquivo, pero necesario. Revista Chilena de Educación Científica, 11(1), 30-38*. https://www.studocu.com/cl/document/universidad-central-de-chile/curriculum-y-evaluacion-para-la-diversidad/vergara-y-cofrc-3a9-2012-la-ic-un-concepto-esquivo-pero-necesario-3/53440919

Vieira, R. M., & 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

Vorholzer, A., & Aufschnaiter, C. (2019). Guidance in inquiry-based instruction – an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, *41*, 1-16. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124

Wang, J., Guo, D., & Jou, M. (2015). A study on the effects of model-based inquiry pedagogy on students' inquiry skills in a virtual physics lab. *Computers in Human Behavior*, *49*, 658-669. https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.043

Wang, Y., Wang, Y., Pan, Z., & Ortega-Martín, J. L. (2024). The Predicting Role of EFL Students' Achievement Emotions and Technological Self-efficacy in Their Technology Acceptance. *The Asia-Pacific Education Researcher*, *33*(4), 771-782. https://doi.org/10.1007/s40299-023-00750-0

Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining Computational Thinking for Mathematics and Science Classrooms. En *Journal of science education and technology* (Vol. 25, Número 1, pp. 127-147). SPRINGER. https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5

Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M. S., Orton, K., Trouille, L., Jona, K., & Wilensky, U. (2014). Interactive Assessment Tools for Computational Thinking in High School STEM Classrooms. En D. Reidsma, I. Choi, & R. Bargar (Eds.), *Intelligent technologies for interactive entertainment, INTETAIN 2014* (Vol. 136, pp. 22-25). SPRINGER.

Willingham, D. (2010). Critical Thinking Why Is It So Hard to Teach? *Arts Education Policy Review*, *109*. https://doi.org/10.3200/AEPR.109.4.21-32

Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, *92*, 941-967. https://doi.org/10.1002/SCE.20259

Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, *49*, 33-35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Wing, J. (2010, enero 1). *Computational Thinking: What and Why?* SciSpace - Paper. https://scispace.com/papers/computational-thinking-what-and-why-1bffsrkges

Wing, J. M. (2011). Computational thinking. *2011 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)*, 3-3. https://doi.org/10.1109/VLHCC.2011.6070404

Wu, C.-H., Liu, C.-H., & Huang, Y.-M. (2022). The exploration of continuous learning intention in STEAM education through attitude, motivation, and cognitive load. *International Journal of STEM Education*, *9*(1), 35. https://doi.org/10.1186/s40594-022-00346-y

Wu, P.-H., & Wu, H.-K. (2020). Constructing a model of engagement in scientific inquiry: Investigating relationships between inquiry-related curiosity, dimensions of engagement, and inquiry abilities. *Instructional Science*, *48*(1), 79-113. https://doi.org/10.1007/s11251-020-09503-8

Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S., & Korb, J. T. (2014). Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education. *ACM Trans. Comput. Educ.*, *14*(1), 5:1-5:16. https://doi.org/10.1145/2576872

Yağcı, M. (2019). A valid and reliable tool for examining computational thinking skills. *Education and Information Technologies*, *24*(1), 929-951. https://doi.org/10.1007/s10639-018-9801-8

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6.ª ed.). SAGE Publications, Inc. https://www.perlego.com/book/3842459/case-study-research-and-applications-design-and-methods-pdf

Ying-Yan, L., Huann-shyang, H., Smith, T., Hong, Z.-R., & 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

Zamorano, T., García Cartagena, Y., & Reyes González, D. S. (2018). Educación para el sujeto del siglo XXI: Principales características del enfoque STEAM desde la mirada educacional. *Contextos: Estudios de humanidades y ciencias sociales*, *Extra 41*, 8-8.

Zapata-Ros, M. & Pérez-Paredes. (2018). *El Pensamiento Computacional, Analisis de Una Competencia Clave*. Pascual Pérez-Paredes y Miguel-Zapata Ros.

Zapata-Ros, M. Z., & Pérez-Paredes, P. (2019). *El Pensamiento Computacional, Analisis de Una Competencia Clave* (2ª). CreateSpace Independent Publishing Platform.

Zeidler, D. (2014). *Socioscientific Issues as a Curriculum Emphasis: Theory, Research and Practice*. (pp. 697-726).

Zeidler, D., Herman, B., & Sadler, T. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, *1*, 11. https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7

Zembylas, M. (2002). Constructing genealogies of teachers' emotions in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*(1), 79-103. https://doi.org/10.1002/tea.10010

Anexo(s)

1. ANEXO I. Documento de información sobre el proyecto a familias y/o tutores

Información sobre el proyecto *"La controversia sociocientífica del río Tinto como recurso para la generación de identidad en el alumnado: ¿Conservar o Restaurar?"*

Estimado/a padre, madre o tutor/a legal:

Le informamos que en el grupo-clase de su hijo/a se va a llevar a cabo durante el mes de abril de 2023 una situación de aprendizaje titulada *"La controversia sociocientífica del río Tinto como recurso para la generación de identidad en el alumnado: ¿Conservar o Restaurar?"*

Durante la misma, se va a trabajar tanto el conocimiento científico sobre las alteraciones del Río Tinto, como la controversia que supone el patrimonio geológico-minero que de él se deriva, con la intención de hacerlos partícipes del patrimonio controversial que tienen en su entorno. Como fin último se pretende generarles pensamiento crítico y un vínculo identitario con su territorio.

Este trabajo forma parte de la tesis doctoral de Alejandro Campina López, profesor de la Universidad de Huelva y se enmarca en el proyecto I+D+i "Patrimonios controversiales para la formación ecosocial de la ciudadanía. Una investigación de educación patrimonial en la enseñanza reglada (EPITEC2)", dentro del grupo de investigación DESYM, en la Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte.

Las sesiones de trabajo serán registradas mediante grabaciones audiovisuales cuyo uso será destinado únicamente con fines de investigación, por lo que el anonimato del alumnado será protegido en todo momento y se respetará la privacidad de sus datos.

Para plantear cualquier pregunta, cuestión o comentario, no dude en contactar con el doctorando Alejandro Campina López (alejandro.campina@ddi.uhu.es) o con los directores de la Tesis, Antonio Lorca (antonio.lorca@ddcc.uhu.es) y M. Ángeles de las Hera (angeles.delasheras@ddcc.uhu.es).

Fdo. Alejandro Campina López

Proyecto PID2020-116662GB-i00 financiado por:

Ayuda FPI: PRE2021-097822

2. ANEXO II. Cuestionario de ideas previas ¿Qué sabes acerca del río Tinto y su entorno?

Nombre_____Apellidos_____

1. Si un/a amigo/a de otro país quisiera visitar el río Tinto, ¿qué le explicarías acerca de él?
2. Históricamente, muchos asentamientos y poblados se construían cercanos a los ríos para aprovecharse de sus recursos. ¿Qué recursos crees que aportaría el río Tinto a los pueblos colindantes y qué aprovechamiento le dieron sus habitantes?
3. Si se pudiera llevar a cabo un tratamiento para quitar el color rojo al río Tinto y hacer así sus aguas más atractivas a la pesca y al consumo, ¿estarías a favor? ¿Por qué?
4. Si pudieras desplazar tu pueblo cerca de un río, ¿lo ubicarías al lado del río Tinto? Explica el por qué comentando los pros y contras que supondría, en todos los ámbitos, tener el pueblo cerca del río.
5. Valora del 1 al 10 las siguientes afirmaciones sobre el río Tinto, significando el valor 1 de "muy desacuerdo" y 10 de "muy de acuerdo". Comenta escribiendo puntualizaciones u observaciones sobre cada afirmación.

Afirmaciones sobre el río Tinto:	**Valora de 1 a 10**
5.1. Es un río "muerto".	
5.2. No existe flora o fauna que pueda estar/vivir cerca de sus aguas.	
5.3. Si no tuviera el color rojo dejaría de ser un río particular o interesante para la ciencia.	

5.4. Las actividades humanas son las causantes de que el río sea como es.	
5.5. Nunca han existido actividades humanas para usar el río como recurso.	
5.6. Nunca ha existido la pesca hasta su desembocadura en la “ría” de Huelva.	
5.7. Si me ensuciara las manos no tendría problema en lavarlas en él.	

5.8. El cauce siempre ha sido el mismo.	
5.9. El río debería ser como todos los demás.	
5.10. Es un orgullo tener en la provincia un río de tales características.	

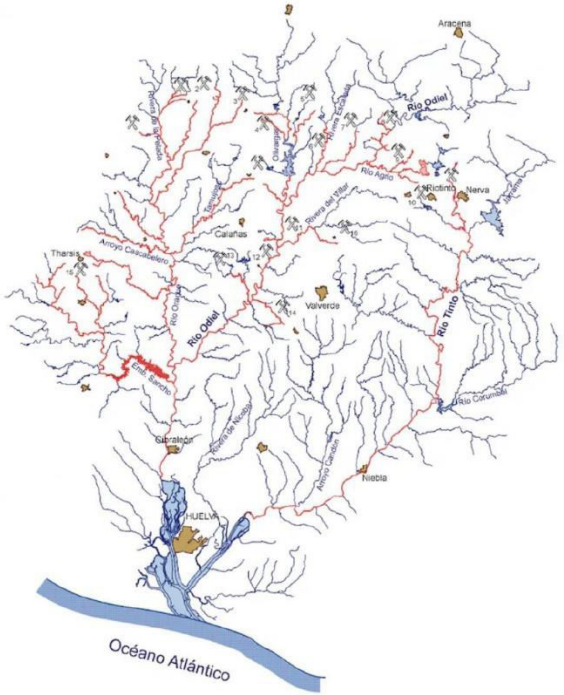
¿Qué sabéis acerca del río Tinto?

1. Observa la imagen detalladamente. Describe, relaciona y comenta todo lo que sepas a partir de los diferentes elementos que componen la fotografía.



¿Qué sabéis acerca del río Tinto?

2. Observando en la siguiente imagen la ubicación de Nerva y Niebla a lo largo del río Tinto, contesta y argumenta: ¿obtendrían los mismos recursos? ¿Cómo crees son las características del río en cada pueblo? ¿Cómo crees que es el entorno del río en cada pueblo?



¿Qué sabéis acerca del río Tinto?

9. ¿Qué imágenes de las siguientes asociarías al río Tinto? Comenta brevemente tu decisión con cada una de ellas.

1.



2.



3.



4.



5.



6.



7.

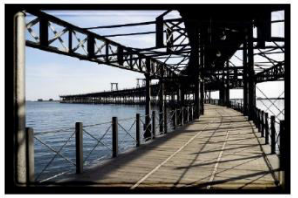


¿Qué sabéis acerca del río Tinto?

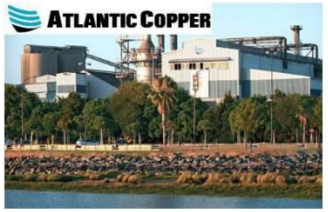
8.



9.



10.



11.



12.



13.



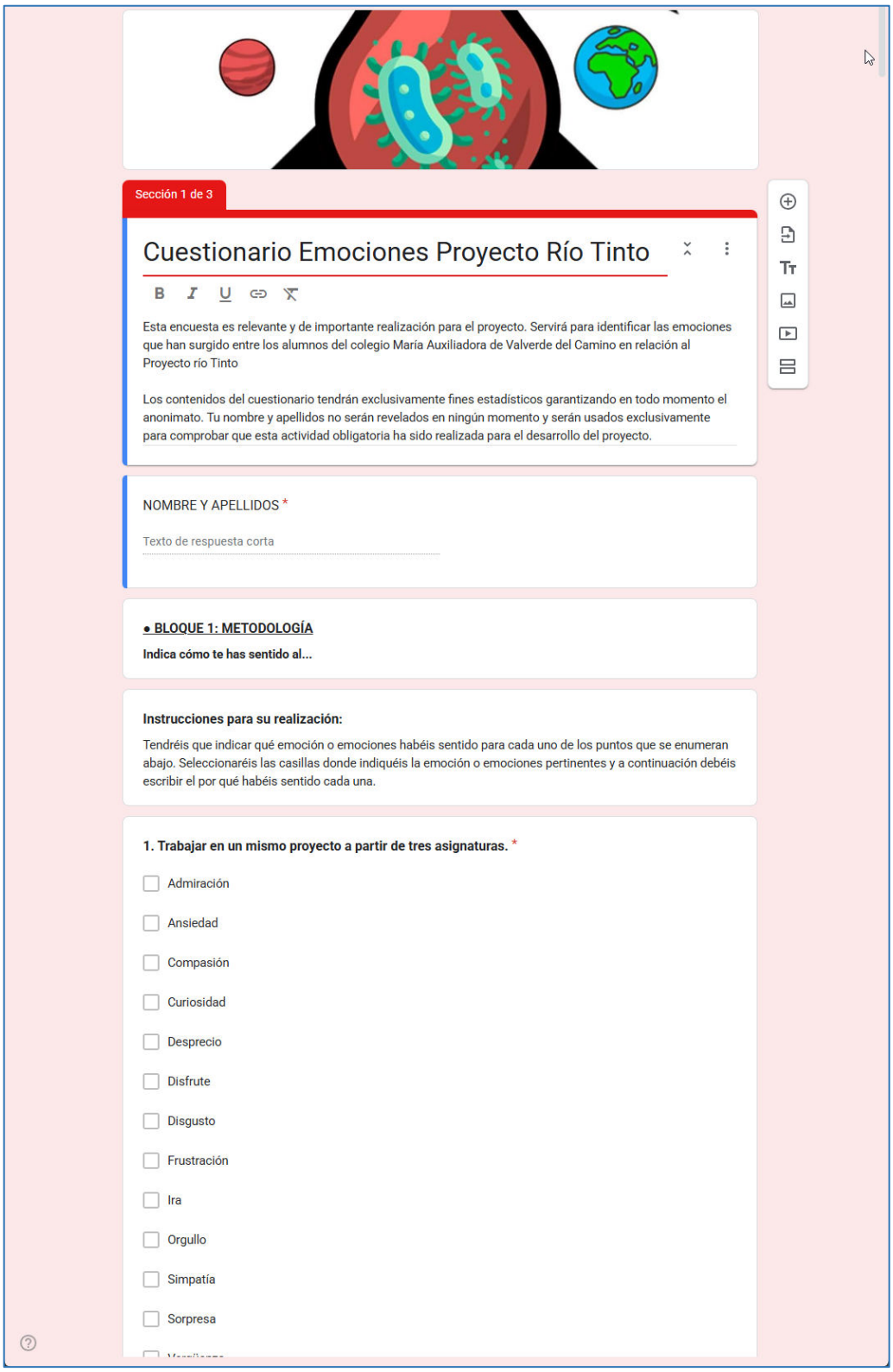
14.



14.



3. ANEXO III. Cuestionario de emociones



ANEXO III.. Portada del cuestionario de las emociones del Proyecto río Tinto. Enlace: https://forms.gle/ZcxRFaKFppHcHxBc6

4. ANEXO IV. Cuaderno de campo



Cuaderno de investigación

Fecha de realización: _____

01. Recolección de evidencias

Misión 1: Realización de fotografías y vídeos al río Tinto y elementos de su entorno.

02. Aspectos biológicos y geológicos

Misión 2: Descripciones e identificaciones del ecosistema y sus elementos.

03. Aspectos fisicoquímicos

Misión 3: Toma de datos de las características fisicoquímicas del río Tinto.

04. Aspectos sociales e históricos

Misión 4. Descripciones y diferencias entre las relaciones sociales entre ingleses y andaluces en el siglo XIX. Descripciones y diferencias en referencia a las relaciones de género en el siglo XIX.

05. Aspectos patrimoniales

Misión 5. Descripciones y clasificación de los elementos patrimonales en relación al río Tinto y su entorno.

1

Toma de datos y evidencias

#riotinto

¡Atención investigador/a!

Tu misión será realizar fotografías y vídeos del río y su entorno.

Una vez recopiles todas las fotos y vídeos, edítalos y súbelos en Instagram en la cuenta del Proyecto río Tinto con su hashtag "#" correspondiente.

Por ejemplo, si ves un edificio de arquitectura inglesa, debes clasificarlo con los siguientes hashtags: #riotinto #patrimonio #britain

#flora

Con este hashtag clasificaremos la vegetación de la zona

#geología

Con este hashtag clasificaremos las rocas y minerales más característicos de la zona

#patrimonio

Con este hashtag clasificaremos todos los elementos patrimoniales relacionados con el río Tinto y su entorno

#andaluz

Con este hashtag clasificaremos todo lo relacionado con los andaluces.

#britain

Con este hashtag clasificaremos todo lo relacionado con los ingleses

1
Misión 1: Recolección de evidencias
Lista de elementos más importantes
a los que fotografiar:
Color de las aguas del río Tinto
Paisajes del río Tinto
Márgenes del río Tinto
Erica Andevalensis
Pirita
Calcopirita
Casa 21 y barrio de Bella Vista
Casa Consejo
Paisajes mineros
Ferrocarriles mineros
1
Preguntas

2

Misión 2: ¡Describe el río Tinto y su entorno!

Nombre del lugar:_____

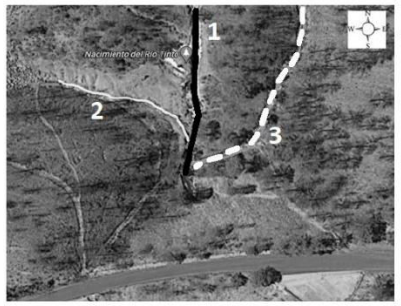
1. ¿Cómo son las aguas?
2. ¿Cómo es el ecosistema?
3. ¿Se observan formas de vida en el agua?

3

Misión 3: ¡Tomemos datos del río y sus afluentes!

- **Transecto:**_____

Valores de pH		
Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	1	1
2	2	2
3	3	3



Valores de turbidez		
1	1	1
2	2	2
3	3	3

Valores de Tª		
1	1	1
2	2	2
3	3	3

Valores TDS		
1	1	1
2	2	2
3	3	3

3

Misión 3: ¡Tomemos datos del río y sus afluentes!

- **Transecto:**_____

Medida del caudal: método del flotador

Tiempo (m/s)
1
2
3



-
-

Medida del caudal: Medir la profundidad de cada sección del río

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sección 1										
Sección 2										
Sección 3										

-
-
-

4

Misión 4: Aspectos sociales e históricos

¿Cómo eran las relaciones laborales en el siglo XIX?

	Andaluz	Británico
Relaciones laborales		

-

5
Misión 4: Aspectos patrimoniales
¿Qué elementos patrimoniales puedes reconocer?
Andaluz
Británico
Elementos patrimoniales

4
Misión 4: Aspectos sociales e históricos
¿Cómo eran las relaciones de género en el siglo XIX?
♀♂
Relaciones de género

Cuéntanos, investigador/a:

1. Haz una narrativa de tu experiencia vivida durante la salida, detallando aquello que más te ha gustado y lo que más te ha llamado la atención

2. ¿Consideras que con esta salida al medio te sientes más cercano y más identificado con tu entorno?

3. ¿Ha cambiado tu percepción hacia el Río Tinto y su entorno social?

3. Nos gustaría saber cómo te has sentido y porqué durante la salida:

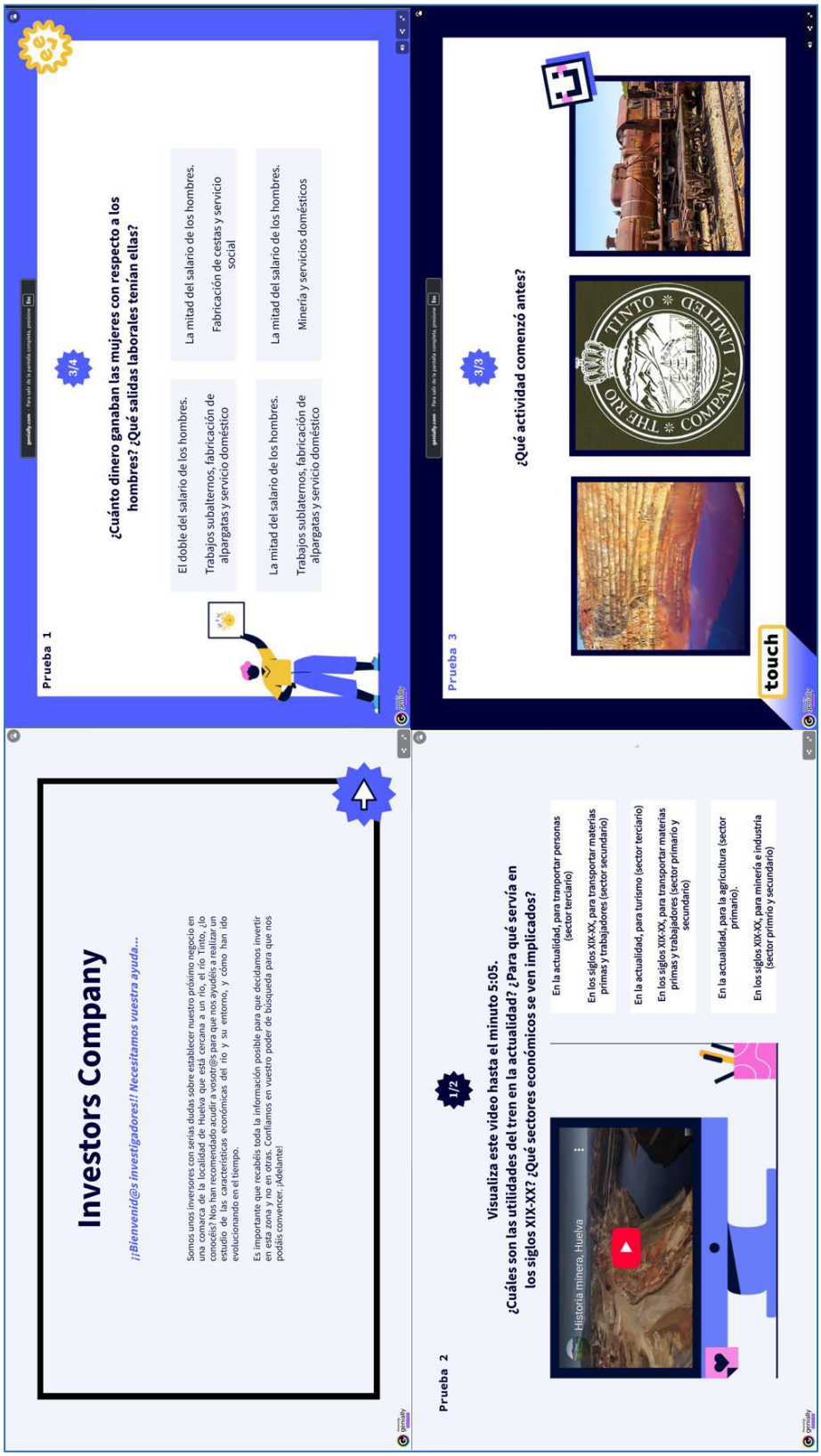
Actividad	Emoción	Descripción
1. El río Tinto y su nacimiento.		
2. Toma de datos fisicoquímicos del río.		
3. Descubriendo la sociedad de Riotinto		
4.		
5.		

5. ANEXO V. Cómic sobre el pensamiento computacional.



ANEXO V. Frodo y el pensamiento computacional. Un cómic presentado en las jornadas de divulgación científica y transferencia "La noche de los investigadores 2024".

6. ANEXO VI. Gymkana sobre Geografía e Historia.



ANEXO VI. Algunas diapositivas de la Gymkana de Geografía e Historia. Enlace: https://view.genially.com/643419c3a229540019d06a1e/interactive-content-escape-room-rio-tinto

7. ANEXO VII. Podcast realizado por el alumnado.



ANEXO VII. Podcast realizado por los alumnos para el III Concurso Nacional de Podcast escolar organizado por Radio Televisión Española (RTVE). Enlace: https://www.eloquenze.com/stations/iii-concurso-nacional-de-podcast-escolar/posts/dos-semanas-investigando-el-rio-tinto

Texto del audio:

Cuentan que las grandes historias sólo aparecen en el cine o en los libros. Que las aulas son sólo espacios herméticos donde se aprende sólo el contenido de la asignatura de turno y que no se nos puede dejar en nuestras manos qué queremos aprender.

Nosotros, los alumnos de 4º de ESO del colegio María Auxiliadora de Valverde del Camino, en Huelva, queremos contarles una gran historia que duró dos semanas. Nuestro relato habla de cómo en dos semanas logramos aproximarnos al planeta Marte como muy pocos lo han logrado antes. Cómo en dos semanas logramos observar a través de una ventana al pasado lo que empezó hace 350 millones de años. Cómo, en dos semanas, en el siglo 19 para conocer a la sociedad y a los inicios de la revolución industrial en nuestra zona. Y cómo, en dos semanas, aprendimos a construir y programar nuestras propias herramientas para medir los aspectos fisicoquímicos del río más insólito de nuestro planeta: el río Tinto, el río de aguas rojas.

Todo comenzó con una gran pregunta. Cuando el profesor nos mostró imágenes del río nos preguntó qué queríamos investigar acerca del él. ¿Por qué es rojo? ¿Nace así? ¿Por qué no crece vegetación en sus márgenes? ¿Cambian sus características a lo largo del cauce? ¿Hay vida en él?

Para conocer si nace así, hicimos un recorrido aéreo por Google Maps. Y parecía que sí, sus aguas ya son de colores rojizos en su nacimiento.

Pero ¿Por qué es rojo? Cuando miramos el mapa vimos la gran cuenca minera de RíoTinto, un paisaje abrumador de kilómetros de terreno minero. ¿Y qué tiñe sus aguas? Necesitábamos investigar el biotopo y la geología. Nos impresionó conocer que en nuestra zona hubo volcanes hace unos 350 millones de años que originaron sulfuros masivos en los que abunda la pirita y la calcopirita, fuentes de hierro, cobre y azufre. Estos minerales al estar en contacto con el oxígeno atmosférico o el oxígeno del agua reaccionan originando hierro férrico, hierro ferroso, sulfatos y acidez.

Esto nos haría comprender que Huelva posee una de las mayores concentraciones de sulfuros masivos del mundo, y que esa acidez generada por la exposición de la pirita estaría condicionando a la vida y al ecosistema en el río y su entorno... pero ¿ha sido siempre así el río o fue debido a la actividad minera? y algo para nosotros más importante... ¿qué es eso de la acidez y el pH?

En 1873 la compañía británica The Rio Tinto Company Limited compró los derechos de explotación pasando a extraerse millones de toneladas y realizándose las minas a cielo abierto más grandes de Europa. Fue un gran impulso económico y tecnológico para nuestra provincia pues construyeron las líneas de ferrocarriles más modernas del país, hospitales punteros y se empezó a practicar por primera vez en nuestro país deportes como el tenis o el fútbol.

Del mismo modo, como toda gran compañía capitalista, su afán era generar dinero y ampliar el margen de beneficios. La sociedad era muy clasista y controlaban la vida de los trabajadores. No les era permitido entrar en los barrios ingleses y el papel de la mujer en la época estaba relegado a labores en la casa y de crianza e incluso al cuidado de los hijos de los británicos.

¿Entonces fue la minería el origen de que el río tenga estas características? Y lo que todavía sigue siendo muy importante: ¿alguien nos va a explicar ya qué es la acidez y qué es el pH?

Lejos de respondernos, el profesor nos preguntó qué parámetros fisicoquímicos son necesarios para el conocimiento de un río. Fue aquí cuando definimos además del pH, la conductividad, la turbidez, el oxígeno disuelto y el caudal. Se nos planteó la oportunidad de aprender a construir y programar nuestras herramientas de medición (unos miniordenadores que programamos fácilmente a través de bloques). Con nuestros sensores de medición listos, tuvimos la oportunidad de visitar el nacimiento del río Tinto. Fue allí donde pudimos ver algo totalmente inesperado: el río no nace rojo.

En su nacimiento el río recibe aguas de dos afluentes: el primero proviene de las escombreras mineras de Cerro Colorado, con un pH cercano a 2. Las aguas son de color rojo intenso. El segundo afluente tiene un pH en torno a 5 y sus aguas eran de colores más claros, ¿y qué color tiene el río en su nacimiento? De forma natural es prácticamente amarillo con un pH muy por encima de 3. Parece ser que lo que caracteriza al río es la minería. Al mezclarse con sus afluentes el pH seguía por debajo de 3. ¿Por qué no varía el pH?

Tomamos muestras y al volver a clase diseñamos y construimos un modelo de lo que acontece en el nacimiento del río. Aprendimos que el pH es una escala logarítmica y que hacen falta grandes volúmenes de agua menos ácida para cambiar la concentración [H3O+]. El río no recibe en su curso suficiente agua de pH más alto como para que varíe este factor.

¿Hay vida en él? Cuando nos interesamos en caracterizar la biocenosis del ecosistema del río Tinto nos dimos cuenta de que no fuimos los primeros investigadores en querer hacerlo: ¿Por qué la mismísima NASA estaba interesada en estudiar el río Tinto? Al investigar supimos que, a pesar de las extremas condiciones para que se desarrolle la vida, existen microorganismos que son capaces de sobrevivir en este entorno. Se trataban de bacterias capaces de comer hierro y que son capaces de oxidar la pirita y hacer sus aguas ácidas y ricas en metales. Esto dio pie a la NASA a cuestionarse si al ser ambientes geoquímicamente similares, podría existir este tipo de vida en planetas como Marte. Además, descubrimos la existencia de la Erica Andevalensis, una planta endémica de la zona capaz de crecer en suelos de pH ácido y de absorber metales.

Así, en dos semanas vivimos una gran historia que hicimos nuestra, disfrutamos dos semanas que se nos hicieron muy cortas, pero sin duda, serán dos semanas que jamás olvidaremos, tanto, como el concepto de pH.

8. ANEXO VIII. SISTEMA DE CATEGORÍAS PROYECTO RIO TINTO

CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS	INDICADORES	DESCRIPTORES
I. CONCEPTO DE PATRIMONIO	1. Perspectiva de patrimonio	Fetichista- Excepcionalista	Admiración irracional, convirtiéndose en amuleto, objeto de culto o mágico. Escasez, rareza, singularidad y valor crematístico.
		Monumental	Grandiosidad y reconocido prestigio, de elementos vivos y no vivos, materiales o inmateriales.
		Estética	Belleza natural, artística y estilística.
		Temporal	Carácter evolutivo-temporal de los cambios en la naturaleza, especies relictas.
		Diversidad	Riqueza en bio-geodiversidad y/o diversidad cultural.
		Simbólico-identitaria	Elementos simbólicos que caracterizan a una sociedad, un entorno natural, la geo-biodiversidad.
	2. Tipología patrimonial	Patr. Natural-Histórico-Artístico	Elementos de carácter medioambiental. Referentes arqueológicos y documentales. Manifestaciones correspondientes a los diferentes movimientos estilísticos. Paisajes asociados a ellos.
		Patr. Etnológico	Elementos significativos y tradicionales que explican el cambio social y paisajes asociados a ellos.
		Patr. Científico-Tecnológico.	Objetos e instrumentos de la ciencia y componentes tecnológicos e industriales de relevancia social y paisajes asociados.
		Patr. Holístico	Consideración global e integrada de todas las manifestaciones anteriores.
II. PATRIMONIOS CONTROVERSIALES	3. Visión del río Tinto y su entorno	Desconocimiento/negación	Posición de ignorancia ante la existencia de controversia o conflicto que subyace a la manifestación patrimonial, o consideración de que dicha controversia proviene del rechazo a la tradición política, social y cultural.
		Conocimiento pasivo	Reconocimiento de la problemática asociada al elemento o manifestación patrimonial mostrando una postura de neutralidad excluyente e inacción personal y social.
		Posicionamiento crítico	Actitud de parcialidad comprometida ante las

			injusticias sociales y ecológicas asociadas a la controversia patrimonial sin que ello implique la participación o acción para el cambio ecosocial.
		Compromiso ecosocial	Participación en las acciones socio-científicas que promuevan cambios estructurales en la gestión de los patrimonios controversiales para una transformación ecosocial basada en los principios de equidad y justicia social y ecológica.
III. ASPECTOS HISTÓRICOS Y SOCIALES	4. Historia del río y su entorno	Explorador del Pasado	Reconoce los principales hitos históricos relacionados con la explotación minera en Riotinto y su impacto en el paisaje y las sociedades.
		Analista de Transformaciones Sociopolíticas	Establece relaciones entre la actividad minera y los cambios geográficos, sociales y políticos en el entorno de Riotinto.
		Historiador de Cambios Sociales	Analiza cómo la minería ha transformado profundamente la estructura social de la región, haciendo énfasis en las diferencias de clase y género.
	5. Historia de la Explotación de la Faja Pirítica	Explorador de Tartessos	Reconoce el uso de técnicas rudimentarias por los Tartessos en la explotación superficial de cobre y otros minerales, orientada a la expansión comercial.
		Comerciante Fenicio	Comprende el uso de técnicas avanzadas por los Fenicios, quienes impulsaron la extracción minera con fines comerciales y conexión mediterránea.
		Ingeniero Romano	Analiza el uso de técnicas romanas, como la minería subterránea y la hidráulica, que permitieron la explotación intensiva de cobre y plata, usando mano de obra esclava.
		Industrial Británico	Evalúa el uso de maquinaria avanzada por los británicos en el siglo XIX, destacando la explotación a escala industrial, construcción de ferrocarriles y extracción de pirita y ácido sulfúrico.
IV. ASPECTOS BIO-GEOLÓGICOS	1. Ecosistema del río Tinto	Explorador de Ecosistemas	Reconoce las principales características del ecosistema del río Tinto, identificando flora y fauna extremófila.

		Investigador de la Biota	Relaciona las características del ecosistema con la biota del río, explicando cómo los factores abióticos influyen en la biota.
		Ecólogo del Tinto	Analiza las interacciones ecológicas entre el biotopo y la biota, interpretando cómo las condiciones extremas afectan la biodiversidad.
	2. Suelo y Geología	Iniciado en Geología	Reconoce la composición básica del suelo y la geología de la zona, identificando suelos y rocas presentes en las márgenes del río.
		Geólogo de Campo	Relaciona la composición geológica con los procesos químicos, explicando cómo los minerales del suelo influyen en la acidez del agua.
		Analista Geológico	Interpreta los procesos geológicos, explicando cómo estos afectan la erosión, sedimentación y el paisaje de la cuenca del río.
	3. Flora y fauna extremófila	Observador de Vida Extrema	Identifica organismos extremófilos presentes en el río Tinto, como Erica andevalensis y otros organismos adaptados.
		Investigador de Extremófilos	Explica la adaptación de los organismos a las condiciones extremas del río, relacionando la acidez del agua con la biota.
		Experto de Entornos Extremos	Analiza las adaptaciones biológicas en profundidad, explicando cómo la biota extremófila interactúa con su entorno.
	4. Geomorfología y modelado	Iniciado en Modelado	Reconoce las principales características geomorfológicas del río, identificando la erosión y sedimentación en sus márgenes.
		Modelador Geomorfológico	Relaciona la geomorfología del río con los procesos de erosión y sedimentación, explicando cómo afectan al paisaje.
		Experto Geomorfológico	Interpreta los procesos geomorfológicos y su impacto en el paisaje, analizando los cambios a lo largo del tiempo.
V. ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS	1. Fenómenos fisicoquímicos	Iniciado en Reacciones	Reconoce las principales características fisicoquímicas del río, como la acidez y los metales disueltos.
		Analista Fisicoquímico	Relaciona los fenómenos fisicoquímicos con la acidez del agua, explicando la influencia de los minerales presentes.

		Científico del pH	Interpreta cómo las reacciones químicas y los parámetros fisicoquímicos afectan la acidez y el equilibrio del ecosistema.
	2. Parámetros fisicoquímicos	Explorador fisicoquímico.	Identifica los principales parámetros del río (pH, turbidez, oxígeno disuelto) observando sus características. Reconoce el concepto de pH y su relación con la acidez del agua, identificando los valores medidos en el río Tinto.
		Investigador de Variables	Relaciona los parámetros con los cambios en la calidad del agua, explicando cómo influyen en el ecosistema del río. Entiende la escala logarítmica del pH, explicando la diferencia entre los valores medidos y cómo pequeños cambios en el pH representan grandes diferencias en acidez.
		Experto en acidez	Analiza las interacciones entre los diferentes parámetros fisicoquímicos, explicando su relación con los procesos químicos. Analiza el pH del río en profundidad, correlacionando los datos de acidez con los procesos químicos como la oxidación de metales y su impacto en el ecosistema.
	3. Reacciones químicas	Curioso de Reacciones	Reconoce las reacciones químicas básicas que ocurren en el río, como la oxidación de metales.
		Estudioso de Compuestos	Relaciona las reacciones químicas con la composición del agua y los compuestos que se forman.
		Experto en Reacciones	Analiza cómo las reacciones químicas afectan la calidad del agua y su impacto en el ecosistema del río Tinto.
VI. INTERACCIÓN SER HUMANO-MEDIO	6. Impacto del ser humano en el río Tinto y su entorno	Observador Histórico	Reconoce los principales eventos históricos relacionados con la minería y su influencia en el río.
		Intérprete de Consecuencias	Analiza las consecuencias medioambientales y sociales de la actividad minera en el ecosistema del río Tinto.
		Crítico del Equilibrio Ecosistémico	Evalúa críticamente el impacto global de la minería y otras intervenciones humanas en el ecosistema del río, proponiendo soluciones.

VII. INTELIGENCIA EMOCIONAL	Emociones Académicas	De logro	Emociones vinculadas con la evaluación del éxito o fracaso en tareas académicas. Pueden ser positivas, como orgullo y satisfacción por alcanzar metas, o negativas, como ansiedad o desesperanza al no cumplir objetivos.
		Epistémicas	Estas emociones surgen del proceso de descubrimiento y adquisición de conocimiento, como la curiosidad o la sorpresa. Están relacionadas con la satisfacción de resolver problemas o descubrir nuevas ideas.
		Temáticas	Emociones que surgen como reacción al contenido específico del aprendizaje. Pueden ser frustración al tratar un tema difícil o asombro por un hecho histórico o científico.
		Sociales	Emociones relacionadas con el contexto social del aprendizaje, incluyendo interacciones con compañeros o profesores. Estas emociones pueden ser admiración, simpatía, frustración grupal o ansiedad por trabajar en equipo.
VIII. COMPETENCIA DIGITAL - Estándares ISTE (Estudiantes)	Alumno/a empoderado/a	Autonomía digital	El alumnado establece metas personales y utiliza tecnología para alcanzarlas, buscando retroalimentación y demostrando competencia.
	Ciudadano/a digital	Comportamiento ético y seguro	El alumnado reconoce sus derechos y responsabilidades en el mundo digital, actuando de forma legal, segura y ética.
	Constructor/a del conocimiento	Creación de conocimiento digital	El alumnado recopila, evalúa y crea información digital significativa y artefactos creativos.
	Diseñador/a innovador/a	Resolución creativa de problemas	El alumnado aplica procesos de diseño para generar soluciones nuevas mediante el uso de tecnologías.
	Pensador/a computacional	Resolución de problemas con tecnología	El alumnado desarrolla estrategias de resolución mediante análisis de datos, abstracción y pensamiento algorítmico.
	Comunicador/a creativo/a	Comunicación digital efectiva	El alumnado utiliza plataformas y medios digitales para comunicar mensajes de forma clara, creativa y adaptada a diferentes audiencias.
	Colaborador/a global	Trabajo colaborativo y responsable	El alumnado colabora eficazmente con otros en

			entornos multiculturales usando herramientas digitales, contribuyendo a resolver problemas locales y globales.
IX. COMPETENCIA DIGITAL – PENSAMIENTO COMPUTACIONAL	Descomposición	Análisis de tareas complejas	Divide problemas en partes manejables, identificando elementos clave y datos relevantes.
	Abstracción	Identificación de elementos esenciales	Extrae ideas principales eliminando detalles irrelevantes para enfocar el problema.
	Generalización	Creación de patrones y modelos	Representa de forma generalizada problemas o soluciones para aplicarlos a nuevos contextos.
	Evaluación	Análisis crítico de relaciones	Relaciona datos relevantes entre sí para establecer conexiones y detectar errores o inconsistencias.
	Pensamiento algorítmico	Diseño de soluciones secuenciales	Crea algoritmos o secuencias ordenadas de pasos que resuelven eficazmente tareas o subproblemas.
X. DESARROLLO ARGUMENTATIVO. TAP-Toulmin	Claim (Afirmación)	Definición de postura	Presenta una afirmación clara o conclusión a defender.
	Data (Datos)	Apoyo factual	Aporta evidencias o datos concretos que sustentan la afirmación.
	Warrant (Garantía)	Conexión lógica	Expone la regla o principio que conecta los datos con la afirmación.
	Backing (Respaldo)	Refuerzo de la conexión	Aporta justificaciones adicionales que fortalecen la garantía.
	Qualifier (Calificador)	Grado de certeza	Indica la fuerza de la afirmación (probable, siempre, ocasionalmente, etc.).
	Rebuttal (Refutación)	Consideración de excepciones	Reconoce condiciones bajo las cuales el argumento podría no ser válido.
XI. DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO – Habilidades Facione	Interpretación	Comprensión de información	Entiende y explica significados, ideas y datos relevantes.
	Análisis	Relación entre ideas	Identifica relaciones y estructuras lógicas entre datos, argumentos o conceptos.
	Evaluación	Valoración crítica	Valora la credibilidad de fuentes, evidencias y argumentos.
	Inferencia	Deducción de conclusiones	Formula conclusiones basadas en evidencias o datos razonados.
	Explicación	Justificación de razonamientos	Comunica con claridad las bases de sus decisiones y conclusiones.

	Autorregulación	Autocorrección del pensamiento	Revisa y ajusta su propio razonamiento crítico para mejorarlo.