

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 adquiriera 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):

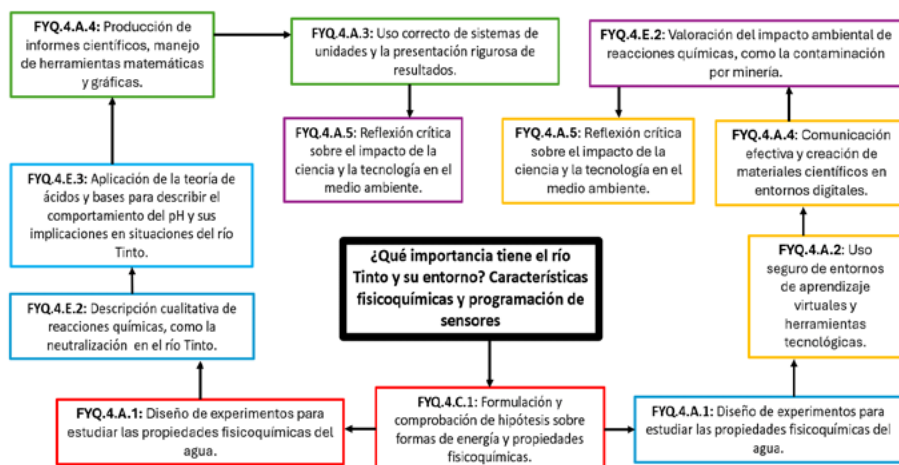


Figura 5. Trama de saberes básicos de la situación de aprendizaje.

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
Actividad 4: 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 fisicoquímicos 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

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 <i>podcast</i> 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 (<i>pH</i> , <i>escala logarítmica</i>).	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, <i>software</i>) 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 <i>software</i> de análisis, resolviendo los problemas científicos planteados en el proyecto.	Emplea de forma crítica y eficiente los recursos tecnológicos, utilizando los sensores y <i>software</i> 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	Descriptoros
I. ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS	1. Fenómenos físicoquímicos	Iniciado en reacciones	Reconoce las principales características físicoquímicas del río, como la acidez y los metales disueltos.
		Analista físicoquímico	Relaciona los fenómenos físicoquímicos con la acidez del agua, explicando la influencia de los minerales presentes.
		Científico del pH	Interpreta cómo las reacciones químicas y los parámetros físicoquímicos afectan la acidez y el equilibrio del ecosistema.
	2. Parámetros físicoquímicos	Explorador físicoquímico	Identifica los principales parámetros del río (pH, turbidez, oxígeno disuelto) observando sus características. Reconoce el concepto de <i>pH</i> 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 físicoquímicos, 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.

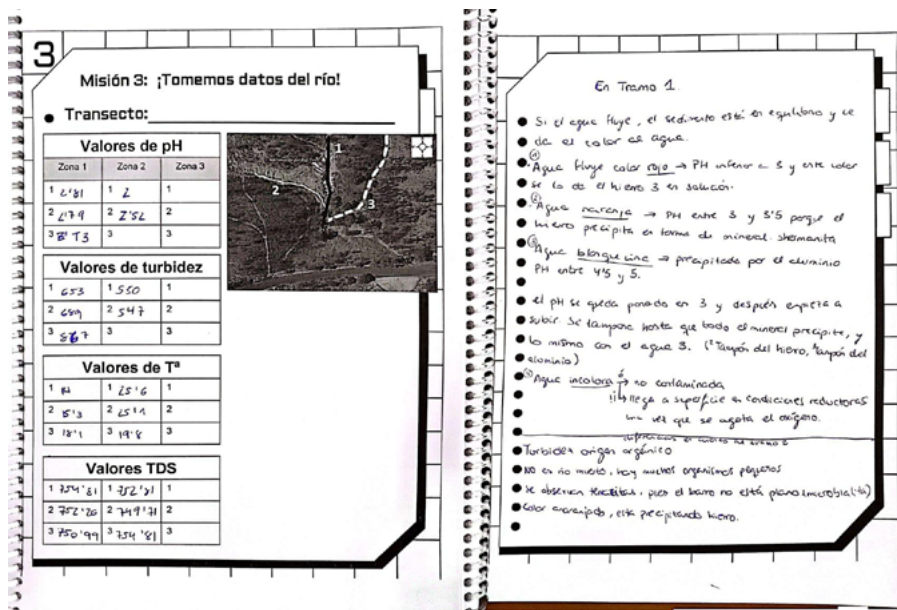


Figura 6. Imágenes de algunos de los cuadernos de campo del alumnado con parámetros fisicoquímicos del río Tinto.

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 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>
- 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.