



# DE LA BODEGA A LA ESTRATÓSFERA: STEM Y APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN UN EXPERIMENTO EDUCATIVO

Javier Urquijo Serna<sup>1</sup>, Carlos Lorente Rubio<sup>2</sup>, Constanza Ruiz<sup>3</sup>

Recibido 18/2/2025 | Aceptado 27/3/2025

DOI: <https://doi.org/10.15366/didacticas2025.32.002>

## RESUMEN

El vino es un producto emblemático en regiones como La Rioja, cuya elaboración combina saberes científicos y tecnológicos vinculados a la fermentación, composición química y conservación. Este artículo tiene como objetivo describir una experiencia educativa interdisciplinar, basada en los enfoques STEM y Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), orientada a acercar la ciencia a contextos locales mediante el estudio de las propiedades del vino en condiciones extremas. La metodología consistió en el diseño, desarrollo y lanzamiento de una sonda estratosférica con muestras de vino, con la colaboración de una bodega local y la participación de estudiantes de Educación Secundaria. Los alumnos intervinieron en todas las fases: identificación de los parámetros fisicoquímicos a analizar, diseño de la cápsula de envío y del sistema de monitorización (equipado con sensores de temperatura, presión y radiación) y posterior análisis de los resultados. Las muestras fueron enviadas a la estratósfera y expuestas a temperaturas bajo cero, presión reducida y alta radiación solar. Tras la recuperación, se realizó un análisis comparativo con las muestras originales. Los resultados mostraron alteraciones en compuestos clave (como el dióxido de azufre, los polifenoles y el índice de color), evidenciando procesos de oxidación y cambios en la estabilidad del vino. Como conclusión, la experiencia destaca el potencial educativo de integrar productos regionales, tecnología y experimentación científica en proyectos STEM, aunque este trabajo no evalúa los efectos directos sobre la comprensión científica del alumnado.

## ABSTRACT

*Wine is an emblematic product in regions such as La Rioja, where its production combines scientific and technological knowledge related to fermentation, chemical composition, and preservation. This article aims to describe an interdisciplinary educational experience, grounded in STEM and Project-Based Learning (PBL), designed to connect scientific knowledge with local contexts through the study of wine properties under extreme conditions. The methodology involved the design, development, and launch of a stratospheric probe carrying wine samples, in collaboration with a local winery and with the active participation of secondary education students. Students engaged in all stages of the project: identifying the physicochemical parameters to be analyzed, designing both the probe's capsule and a monitoring system equipped with sensors (temperature, pressure, and solar radiation), and analyzing the collected data. The wine samples were exposed to the stratosphere, facing sub-zero temperatures, reduced atmospheric pressure, and intense solar radiation. After recovery, a comparative analysis was conducted between the pre- and post-flight samples. The results revealed significant alterations in key compounds (including sulfur dioxide, polyphenols, and color index), evidencing oxidation processes and changes in wine stability. In conclusion, this experience highlights the educational potential of integrating regional products, technology, and scientific experimentation within STEM projects, offering students a meaningful, real-world learning opportunity. However, it is important to note that this article does not provide a systematic evaluation of the project's impact on students' scientific understanding.*

1. Colegio Compañía de María  
La Enseñanza de Logroño  
[jurquijo@ciamarialog.org](mailto:jurquijo@ciamarialog.org)

2. Universidad Internacional de la Rioja  
[carlos.lorenterubio@unir.net](mailto:carlos.lorenterubio@unir.net)  
Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0007-0145-8602>

3. Universidad Internacional de la Rioja  
[constanza.ruiz@unir.net](mailto:constanza.ruiz@unir.net)  
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-7906-5832>

## PALABRAS CLAVE:

STEM; Aprendizaje Basado en Proyectos; Educación Secundaria; Interdisciplinariedad; Sondas estratosféricas.

## KEYWORDS:

STEM; Project-Based Learning; Secondary Education; Interdisciplinarity; Stratospheric probes.

## 1. INTRODUCCIÓN

En un mundo donde la ciencia, la tecnología y la innovación avanzan a un ritmo acelerado, la educación debe evolucionar para preparar a los estudiantes con habilidades que les permitan comprender y transformar su entorno. La educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) surge como un enfoque pedagógico que fomenta un aprendizaje dinámico y participativo, donde los estudiantes desarrollan su pensamiento a través de actividades interdisciplinarias y experiencias de aprendizaje activo, en lugar de limitarse a escuchar de manera pasiva a un experto (Quigley et al., 2020).

Este modelo educativo enfatiza el desarrollo de habilidades cognitivas de alto nivel, como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas. Además, a menudo involucra el trabajo colaborativo, promoviendo el aprendizaje social y el desarrollo de competencias clave para el mundo actual (Freeman et al., 2014).

La enseñanza STEM se articula en torno a tres pilares fundamentales (García-Piqueras y Sotos Serrano, 2021):

- **Inclusión:** Busca atraer a todos los estudiantes, independientemente de su contexto socioeconómico, brindándoles herramientas para desarrollar habilidades científico-tecnológicas y artísticas.
- **Creatividad:** Se potencia a través de la experimentación, la exploración y la integración del arte con la ciencia, permitiendo a los estudiantes abordar problemas desde múltiples perspectivas.
- **Ciudadanía:** A través del estudio de problemáticas reales, como el cambio climático, la sostenibilidad y la tecnología aplicada a la vida cotidiana, se fomenta el compromiso social y la conciencia crítica.

Uno de los enfoques metodológicos que mejor se alinea con la educación STEM es el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Esta metodología didáctica ha despertado un creciente interés en los últimos años (Benlaghrissi y Ouahidi, 2024; Martín y Santaolalla, 2021; Zhao y Wang, 2022). Su origen se remonta a Kilpatrick, quien en su obra *The Project Method* (1918) planteó que el aprendizaje significativo requiere un propósito claro. Kilpatrick identificó cuatro tipos de proyectos en función del objetivo que los impulsa, los cuales pueden resumirse en: crear un producto, resolver un problema, experimentar una vivencia estética y adquirir conocimientos. A través de esta metodología los estudiantes trabajan en la resolución de problemas reales, integrando conocimientos de diversas disciplinas para desarrollar soluciones innovadoras. En lugar de centrarse únicamente en la adquisición de conceptos teóricos, el ABP permite aplicar el conocimiento en contextos significativos, promoviendo una comprensión más profunda y duradera (Domènech-Casal et al., 2019).

En este contexto, el desarrollo de la competencia científica en los estudiantes resulta fundamental para su formación integral, permitiéndoles adquirir habilidades analíticas, reflexivas y de toma de decisiones informadas. La enseñanza de la ciencia desde un enfoque contextualizado y experimental, como el que ofrece el ABP, promueve la indagación y el pensamiento crítico, fomentando el aprendizaje significativo (Caamaño, 2018). Los proyectos educativos que combinan la experimentación con la aplicación de la ciencia en problemas reales han demostrado ser efectivos para mejorar la comprensión de conceptos y la motivación del alumnado (Caamaño, 2018). En particular, la integración de instrumentos como sensores y sistemas de medición en proyectos STEM fortalece la capacidad de los estudiantes para formular hipótesis, analizar datos y extraer conclusiones basadas en la evidencia (Caamaño, 2018).

En definitiva, la integración de STEM con el ABP no solo transforma el aula en un espacio de ex-

ploración y descubrimiento, sino que también sienta las bases para una educación más significativa, interdisciplinaria y conectada con la realidad. Además, contribuye al desarrollo de la competencia científica, brindando a los estudiantes herramientas para enfrentar desafíos del mundo real y comprender el papel de la ciencia en la sociedad contemporánea.

### **1.1. Importancia de productos regionales en el aprendizaje**

El uso de productos regionales como recurso educativo en la enseñanza de las ciencias representa una estrategia eficaz para lograr un aprendizaje más significativo y contextualizado. Al integrar elementos cercanos a la realidad de los estudiantes, se favorece la conexión entre los contenidos científicos y la vida cotidiana, aumentando la motivación y el interés por el aprendizaje (Lima et al. 2024; Vázquez et al., 2008).

Desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS), el aprendizaje basado en recursos regionales permite a los estudiantes comprender el impacto de la ciencia en su entorno inmediato y en la economía local. Al analizar productos como el vino, el aceite de oliva o cualquier otro bien característico de una región, los estudiantes pueden explorar conceptos clave de disciplinas como química, biología, tecnología y geografía, promoviendo una enseñanza interdisciplinaria (Espinosa Castillo et al., 2024; Vázquez et al., 2008).

La enseñanza de la química en contexto, según Caamaño (2018), se fundamenta en la visión del aprendizaje situado, que enfatiza la importancia del contexto en la adquisición del conocimiento. Mientras que las teorías cognitivas tradicionales consideran el conocimiento como una entidad abstracta, los enfoques situados destacan que el aprendizaje ocurre de manera más efectiva cuando está vinculado a situaciones auténticas y significativas para los estudiantes. Esto implica que el conocimiento adquirido en contextos relevantes tiene una

mayor capacidad de transferencia y aplicación en situaciones reales (Caamaño, 2018).

Además, esta estrategia fomenta el pensamiento crítico y la actitud investigativa, ya que los estudiantes participan activamente en la búsqueda de información, entrevistas con expertos y análisis de procesos productivos. Este tipo de experiencias les permite no solo comprender la ciencia detrás de los productos, sino también reflexionar sobre la sostenibilidad, la innovación tecnológica y las implicaciones sociales y económicas de su producción y comercialización (Membiela, 2001).

Desde una perspectiva educativa, la incorporación de productos regionales en la enseñanza de las ciencias refuerza la alfabetización científica y tecnológica al vincular la teoría con aplicaciones reales. Caamaño (2018) señala que la química en contexto no solo facilita la comprensión de los conceptos científicos, sino que también fortalece la relación entre la ciencia y la sociedad, promoviendo una visión más amplia del impacto de la química en la vida cotidiana. Además, este enfoque permite que los estudiantes desarrollen habilidades esenciales como la autonomía, el trabajo en equipo y la toma de decisiones fundamentadas (Caamaño, 2018).

En definitiva, integrar los productos regionales en la enseñanza de las ciencias no solo mejora la comprensión de los contenidos curriculares, sino que también fortalece la identidad cultural de los estudiantes, promoviendo una educación más cercana a su entorno y alineada con las necesidades de su comunidad. Este enfoque, al situar el aprendizaje en un contexto relevante, facilita una enseñanza más dinámica y motivadora, con un impacto positivo en la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados y socialmente comprometidos (Caamaño, 2018).

### **1.2. Sensores y sistemas de captación de datos**

El uso de sensores y sistemas de captación de datos en la enseñanza de las ciencias favore-

ce el desarrollo de la competencia científica al permitir que los estudiantes trabajen con datos reales, formulen hipótesis y validen resultados de manera experimental (Alegre Buj y Cuetos Revuelta, 2021). En lugar de depender exclusivamente de la memorización de conceptos teóricos, los alumnos pueden interactuar con fenómenos físicos y químicos a través de mediciones precisas, facilitando la comprensión de temas abstractos y su aplicación en contextos reales (Pontes et al., 2017).

La integración de plataformas como Arduino en el aula permite que los estudiantes diseñen y realicen experimentos en física, química y otras disciplinas científicas, desarrollando habilidades esenciales como la recolección y análisis de datos, el trabajo colaborativo y la resolución de problemas (Rywalt et al., 2019). Además, estos dispositivos fomentan un enfoque más activo y autónomo del aprendizaje, ya que los estudiantes no solo observan los fenómenos, sino que también diseñan estrategias para medirlos y analizarlos. Este tipo de tecnología ha sido ampliamente utilizada en la educación científica para realizar mediciones de variables como temperatura, presión, humedad o conductividad eléctrica, mejorando la precisión y eficiencia en la adquisición de datos en experimentos escolares (Pontes et al., 2017).

Los sistemas de captación de datos también fortalecen la alfabetización científica y digital, competencias fundamentales en la educación actual (Chamrat y Suyamoon, 2024). La manipulación de sensores para medir temperatura, presión, pH o radiación permite que los estudiantes comprendan mejor las relaciones entre variables y la importancia de la precisión en la investigación científica. Además, la visualización de datos en tiempo real les ayuda a identificar patrones, realizar predicciones y validar modelos científicos, lo que refuerza su capacidad de argumentación y pensamiento crítico (Pozo y Gómez, 2009).

Las sondas estratosféricas representan una aplicación avanzada de estos sistemas en pro-

yectos educativos. Su uso en el aula permite a los estudiantes explorar las condiciones extremas de la atmósfera terrestre, midiendo variables como la temperatura, la radiación y la presión atmosférica a diferentes altitudes. Este tipo de experimentos les brinda la oportunidad de aplicar conocimientos teóricos en un contexto real, desarrollar habilidades en el diseño y manejo de sensores y comprender cómo se llevan a cabo investigaciones científicas en condiciones adversas (Alegre Buj y Cuetos Revuelta, 2021). Los sistemas de adquisición de datos utilizados en este tipo de experimentos pueden incluir diversas interfaces y sensores especializados, optimizando la recolección y análisis de datos experimentales en escenarios reales y controlados (Pontes et al., 2017).

El desarrollo de simulaciones y entornos virtuales para la enseñanza de la experimentación científica también ha demostrado ser una herramienta complementaria efectiva en la formación de competencias científicas. Programas de simulación permiten a los estudiantes familiarizarse con el uso de sensores y sistemas de adquisición de datos antes de realizar experimentos físicos, reduciendo la brecha entre la teoría y la práctica (Pontes et al., 2017). Este tipo de herramientas es particularmente útil cuando los experimentos requieren equipamiento especializado o cuando es necesario realizar múltiples mediciones en condiciones controladas.

En este contexto, la implementación de tecnologías de captación de datos en proyectos educativos no solo mejora la enseñanza de las ciencias, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentarse a desafíos en un mundo altamente tecnológico. La experimentación con sensores y herramientas digitales facilita el aprendizaje de conceptos científicos y les proporciona habilidades prácticas aplicables en distintos ámbitos profesionales y de investigación (Prima et al., 2017).

El objetivo principal de este proyecto es mostrar una propuesta de aula basada en el enfo-

que STEM y el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en educación secundaria en donde se analicen la variación de los parámetros físico-químicos del vino tras ser sometido a condiciones extremas. Para el alcance de este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el aporte del enfoque STEM y el Aprendizaje Basado en Proyectos en la mejora de la competencia científica de los estudiantes.
- Indagar en las posibilidades que tiene la incorporación de sensores y sistemas de monitorización del aprendizaje de las ciencias.
- Desarrollar una propuesta de aula basada en STEM en la que se haga uso de una sonda estratosférica para estudiar los principales parámetros del vino.

## 2. DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta el diseño de la propuesta de innovación docente, detallando su estructura, enfoque metodológico y herramientas empleadas en su implementación.

### 2.1. Introducción del proyecto

El vino ha sido una de las bebidas más representativas de la historia, cuya tradición se remontaba a la antigüedad y ha perdurado hasta la actualidad. Se obtenía a partir de la fermentación alcohólica del zumo de uva, un proceso que ha evolucionado a lo largo de los siglos gracias al perfeccionamiento de las técnicas de vinificación. A lo largo de generaciones, las bodegas refinaron sus métodos, combinando sabiduría tradicional y avances científicos para mejorar la calidad del producto y adaptarlo a distintos mercados. Con el tiempo, el vino se convirtió en un símbolo cultural y económico que trascendió fronteras.

En este contexto, La Rioja fue un referente indiscutible en la producción vinícola, y su identidad estuvo estrechamente ligada a este producto. La calidad del vino riojano dependía de una combinación de factores, que incluían la variedad de la uva, las condiciones del suelo y el clima, así como las técnicas de fermentación y envejecimiento. Sin embargo, más allá de la química y la biología del vino, su producción implicaba una serie de procesos interrelacionados que abarcaban desde la gestión de cultivos hasta la comercialización y exportación del producto.

El proceso de elaboración del vino ofreció un campo de estudio interdisciplinario, en el que confluyeron diversas áreas del conocimiento. En el ámbito científico, aspectos como la fermentación, la composición química, el pH, la acidez, la microbiología y la oxidación fueron fundamentales para comprender cómo se transformaba el mosto en vino y cómo se podían mejorar sus propiedades. En el ámbito tecnológico, se estudiaban los sistemas de control de temperatura, los sensores de calidad, la automatización de bodegas y los métodos de conservación. Además, la producción vinícola no podía entenderse sin la aplicación de conocimientos en gestión empresarial, logística, comercio internacional, marketing y comunicación, aspectos esenciales para la industria.

Desde esta perspectiva, surgió la idea de desarrollar un proyecto educativo innovador que integrara múltiples disciplinas y que permitiera a los estudiantes experimentar con las condiciones extremas a las que puede estar sometido el vino en procesos de transporte y almacenamiento internacionales. Para ello, se diseñó y construyó una sonda estratosférica equipada con sensores y sistemas de monitorización, con el fin de analizar cómo las condiciones de baja presión, temperaturas extremas y radiación afectaban a las propiedades del vino.

Por todo ello, desarrollar un proyecto escolar en colaboración con una bodega ofreció una experiencia educativa única, que permitió a los

estudiantes de la ESO poner en práctica conocimientos teóricos y desarrollar competencias clave. A través de este proyecto, los alumnos no solo aprendieron sobre los procesos científicos y tecnológicos que intervinieron en la producción del vino, sino que también exploraron su impacto económico y social. Además, la creación y lanzamiento de la sonda no solo les permitió aplicar conocimientos en física, química, tecnología y matemáticas, sino que también los acercó a la metodología científica y a la experimentación real, brindándoles una oportunidad única de aprendizaje a través de la observación y el análisis de datos.

Este enfoque integrador permitió a los estudiantes aplicar conceptos de diversas asignaturas, tales como:

- Física y química: Reacciones químicas en la fermentación, cambios en la composición del vino según las condiciones ambientales.
- Biología: Microorganismos involucrados en la fermentación, levaduras y bacterias lácticas en el proceso de vinificación.
- Matemáticas: Cálculo de concentraciones, índices de calidad, análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos del vino.
- Tecnología: Diseño de sistemas de monitorización para la producción vinícola, uso de sensores y dispositivos electrónicos en bodegas.
- Economía y empresariales: Modelos de negocio en la industria vinícola, estrategias de exportación, marketing y análisis de mercados.

Este proyecto no solo conectó el aprendizaje con la realidad, sino que también fomentó habilidades esenciales como el trabajo en equipo, la resolución de problemas y el pensamiento crítico, preparando a los estudiantes para en-

frentar desafíos en un mundo cada vez más tecnológico e interconectado.

El objetivo didáctico principal de este proyecto es:

- Desarrollar la competencia científica en los estudiantes a través del seguimiento del método científico en un ambiente multidisciplinar.
- Analizar la variación de los distintos componentes del vino cuando se exponen a condiciones extremas de temperatura, presión y radiación solar sin filtrar en la estratósfera.

Los objetivos didácticos secundarios:

- Definir, en colaboración con la bodega, los componentes del vino a analizar en el experimento, incluyendo la intensidad de color, índice de polifenoles totales, grado alcohólico (20°C), pH, acidez total y volátil, microbiología, entre otros.
- Realizar una visita a la bodega para conocer de primera mano el proceso de elaboración del vino y los parámetros más importantes.
- Identificar y establecer los parámetros ambientales a medir durante la exposición estratosférica, como temperatura, radiación solar y concentración de ozono (O<sub>3</sub>).
- Diseñar y desarrollar un sistema de monitorización y recolección de datos.
- Construir una cápsula experimental que contenga el sistema de monitorización y los tubos de ensayo con las muestras de vino.
- Realizar un análisis comparativo de los componentes del vino antes y después de su exposición a la estratósfera para evaluar posibles alteraciones.

## 2.2. Contexto del proyecto

El proyecto se llevó a cabo en el Colegio Compañía de María de Logroño (La Rioja, España), un centro concertado y de orientación religiosa, situado en un entorno urbano. La experiencia fue desarrollada principalmente con un grupo de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO), en el que participaron 30 estudiantes de entre 15 y 16 años. Aunque la actividad se enmarcó principalmente en las asignaturas de Física y Química, Tecnología y Biología, también contó con la participación de otros alumnos de niveles inferiores que mostraron interés por el proyecto en espacios extracurriculares. El centro educativo es mixto y acoge a alumnado procedente de contextos socioculturales diversos, lo que aporta riqueza y heterogeneidad al desarrollo de actividades interdisciplinarias. La colaboración con la Bodega Marqués del Atrio de Mendavia y con el Proyecto Servet de la Universidad de Zaragoza permitió conectar la experiencia con agentes del entorno local y científico, ampliando las posibilidades educativas del proyecto.

## 2.3. Experimento y colaboración

El experimento consistió en un análisis detallado de los componentes fisicoquímicos y microbiológicos del vino antes y después de su exposición a condiciones extremas en la estratósfera. En una primera fase, se evaluaron parámetros clave como intensidad de color, índice de polifenoles totales, grado alcohólico (20°C), pH, acidez total y volátil, sulfuroso libre y total, y microbiología.

Posteriormente, las muestras de vino fueron enviadas a la estratósfera en tubos de ensayo contenidos dentro de una cápsula diseñada específicamente para este propósito. Durante su ascenso, estuvieron expuestas a bajas temperaturas, variaciones de presión y radiación solar sin filtrar, condiciones que podrían haber provocado alteraciones en su composición.

El diseño y elaboración de la sonda estratosférica estuvieron a cargo del Proyecto Servet de

la Universidad de Zaragoza, un equipo especializado en el desarrollo de misiones educativas de exploración atmosférica, garantizando la adecuada protección y transporte de las muestras durante el experimento.

Una vez recuperadas las muestras, se realizó un nuevo análisis de los mismos parámetros para identificar posibles modificaciones en su estructura química y microbiológica. Este análisis comparativo permitió comprender mejor los efectos de la exposición ambiental sobre la estabilidad del vino, con aplicaciones potenciales en conservación, almacenamiento y transporte en condiciones extremas.

La colaboración con la Bodega Marqués del Atrio fue fundamental para el desarrollo del experimento, permitiendo no solo el acceso a los laboratorios para el análisis del vino, sino también un enfoque interdisciplinario, en el que se combinaron conocimientos de química, biología y tecnología. Además, esta experiencia aportó valor educativo al proyecto, acercando a los estudiantes a la metodología científica y a la investigación aplicada en un contexto real.

## 2.4. Proceso experimental y análisis de resultados

El desarrollo del proyecto se organizó en una secuencia didáctica estructurada en distintas fases, en las que el papel del docente fue el de guía, orientador y facilitador, encargándose de coordinar las tareas, plantear los retos, y acompañar al alumnado en el proceso de toma de decisiones, resolución de problemas y análisis de resultados. Por su parte, el alumnado adoptó un rol activo, participando en la planificación de las actividades, en la selección y análisis de las muestras, y en el diseño de la cápsula y el sistema de sensores. Además, los estudiantes colaboraron en la interpretación de los resultados experimentales y en la difusión del proyecto mediante la elaboración de materiales como el póster científico.

La secuencia de actividades se diseñó para progresar desde el planteamiento del reto y la con-



FIGURA 1. Estudiantes durante la visita a la Bodega Marqués del Atrio realizando el análisis inicial del vino.

textualización del problema hasta el análisis experimental y la comunicación de resultados, combinando momentos de investigación guiada, trabajo experimental, discusión y reflexión crítica.

El objetivo de este experimento fue analizar la variación de los componentes del vino cuando se sometió a condiciones extremas similares a las presentes en la estratósfera.

El procedimiento se desarrolló en varias fases:

### 1. Análisis inicial en laboratorio (Figura 1)

- Se realizó un primer análisis de los vinos seleccionados en la Bodega Marqués del Atrio, donde se registraron parámetros clave como intensidad de color, índice de polifenoles totales, grado alcohólico, pH,

acidez total y volátil, sulfuroso libre y total, y microbiología.

- Durante esta fase, el papel del profesorado fue el de coordinar la visita a la bodega y guiar al alumnado en la comprensión de los procesos de análisis fisicoquímico del vino, en colaboración con los enólogos y técnicos de laboratorio. Por su parte, el alumnado asumió un rol activo, participando en la toma de muestras, observando y registrando los procedimientos realizados, y tomando nota de las variables clave a analizar.

### 2. Preparación y exposición en la estratósfera (Figura 2)

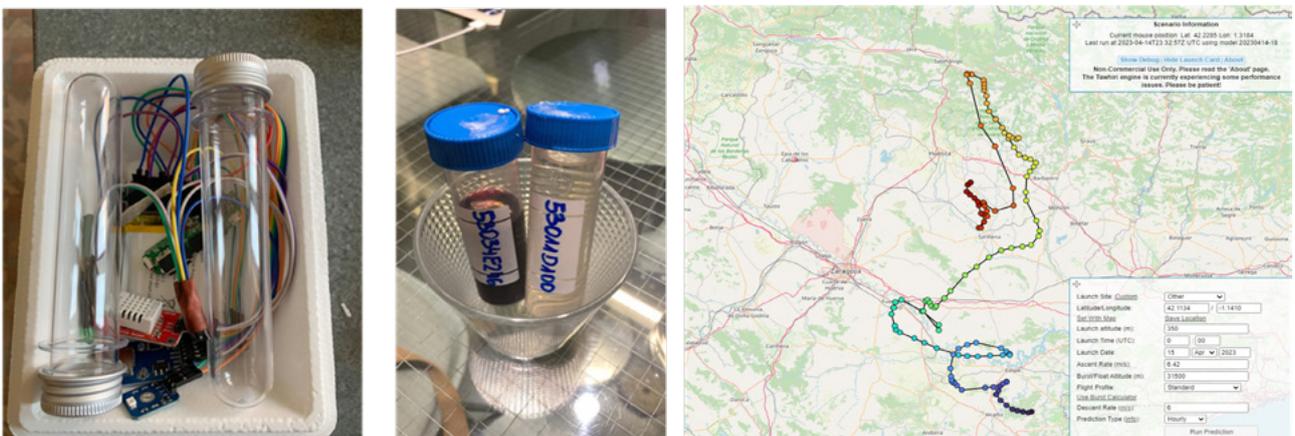


FIGURA 2. Izquierda: muestra de vino con sensores y cápsula de monitoreo. Derecha: simulación de la trayectoria del globo-sonda.

- Se extrajeron muestras del mismo lote de vino y se sellaron en tubos de ensayo.
- Estos tubos fueron colocados en una cápsula especialmente diseñada para ser enviados a la estratósfera.
- Junto a las muestras, se integró un sistema de medición basado en Arduino, equipado con sensores para registrar temperatura, humedad, radiación solar, presión atmosférica y niveles de ozono ( $O_3$ ) durante el trayecto.
- Durante la fase previa al diseño definitivo del sistema de monitorización, el alumnado realizó simulaciones digitales para prever el comportamiento de los sensores de temperatura y presión en condiciones extremas. Además, se utilizó la plataforma [predict.sondehub.org](https://predict.sondehub.org), una herramienta en línea que permite simular el lanzamiento y trayectoria de un globo meteorológico en función de la posición geográfica, la fecha y hora de lanzamiento, el tamaño del globo, el peso transportado y el volumen inicial de gas. Esta simulación proporcionó al alumnado una visión más precisa sobre la trayectoria esperada del experimento y las condiciones ambientales a las que se verían expuestas las muestras durante su ascenso y descenso. Estas actividades facilitaron la anticipación de los valores esperados y el reconocimiento de las variables físicas a registrar, favoreciendo la toma de decisiones en el diseño del sistema experimental.
- En esta fase, el profesorado tuvo un papel de orientación y supervisión, facilitando los recursos necesarios, explicando el funcionamiento del sistema Arduino y guiando al alumnado en la toma de decisiones sobre la disposición y calibración de los sensores. El alumnado, por su parte, se encargó de diseñar las propuestas técnicas, realizar las simulaciones del funcionamiento de los sensores y del trayecto del globo

con [predict.sondehub.org](https://predict.sondehub.org), y colaborar en la construcción de la cápsula y la preparación de las muestras, fomentando así la autonomía y el trabajo en equipo.

### 3. Recuperación y análisis post-exposición

- Tras su regreso, los tubos de ensayo fueron enviados nuevamente al laboratorio de la bodega, donde se repitió el análisis de los mismos parámetros estudiados previamente.
- Se compararon los datos antes y después de la exposición para determinar posibles alteraciones en la composición del vino debido a las condiciones extremas.
- Durante esta fase, el profesorado facilitó la interpretación de los datos y promovió el análisis crítico de los resultados, orientando al alumnado en la comparación de las variables fisicoquímicas y en la reflexión sobre las posibles causas de las variaciones observadas. El alumnado participó activamente en la organización de los datos, en la interpretación conjunta con el profesorado y en la elaboración de hipótesis sobre los efectos del vuelo estratosférico.

### 4. Procesamiento de datos y difusión de resultados

- Los datos obtenidos fueron procesados y analizados, permitiendo extraer conclusiones sobre el impacto ambiental en la estabilidad y calidad del vino.
- Los resultados fueron expuestos y difundidos, tanto con fines educativos como para su posible aplicación en la industria vinícola.
- Adicionalmente, la sonda incluyó cámaras que capturaron imágenes del

experimento en distintas fases. Estas imágenes tuvieron un doble propósito:

- Científico, para documentar el proceso.
  - Comercial, dado el valor simbólico de haber enviado vino a la estratósfera, un aspecto que podría resultar atractivo para la bodega en términos de marketing y divulgación.
- Antes del lanzamiento, se elaboró un póster científico en el que se presentaba el proyecto y sus objetivos. En esta fase aún no se disponía de los resultados, ya que el vino no había sido enviado. Este póster fue expuesto el día del lanzamiento junto con los de otros centros participantes. Puede consultarse en el siguiente enlace: [Póster del lanzamiento de SERVET VIII](#).
  - En esta fase final, el profesorado actuó como coordinador del proceso de síntesis y divulgación de los resultados, guiando al alumnado en la elaboración del póster científico y en la preparación de las presentaciones. El alumnado asumió un rol activo en la organización y análisis de los datos, en la redacción de los materiales de difusión y en la exposición pública del proyecto, promoviendo así el desarrollo de competencias de comunicación científica, pensamiento crítico y reflexión sobre el impacto del experimento.
  - Para el envío de las muestras de vino a la estratósfera, se implementó un sistema de monitorización y recolección de datos, basado en un kit de Arduino equipado con diversos sensores (Figura 3). Este

sistema permitió registrar parámetros clave durante el trayecto, proporcionando datos sobre las condiciones extremas a las que fueron sometidas las muestras.

El equipo experimental incluyó:

- Un conjunto de sensores para medir temperatura, presión atmosférica, humedad, radiación solar y niveles de ozono ( $O_3$ ).
- Una minicámara para capturar imágenes del proceso, con fines científicos y divulgativos.
- Un soporte para los tubos de ensayo, diseñado para contener y proteger las muestras de vino durante el ascenso y el descenso.

Además, la sonda fue diseñada con una estructura resistente para proteger los componentes electrónicos y las muestras de vino durante su ascenso y posterior recuperación (Figura 4).

Toda la electrónica y los sensores fueron resguardados en una caja aislante, con los sensores estratégicamente ubicados en el exterior para garantizar mediciones precisas. Por su parte, las muestras de vino fueron colocadas en tubos de ensayo, sujetos a un soporte exterior diseñado para resistir el impacto tras la caída y garantizar la seguridad del contenido. El diseño de los tubos de ensayo se llevó a cabo en colaboración con Marqués del Atrio, con el objetivo de seleccionar un material que



FIGURA 3. Cápsula para el envío de vino a la estratosfera junto con el sistema de monitorización.



FIGURA 4. Fotografías de la sonda antes de enviarse y tras su recuperación.

permitiera la exposición del vino a las condiciones ambientales extremas, pero que al mismo tiempo mantuviera características similares a las de una botella de transporte comercial. Este aspecto fue fundamental para asegurar que los resultados obtenidos en el experimento fueran relevantes para la industria vinícola y pudieran aplicarse en el análisis de las condiciones de almacenamiento y exportación.

### 3. RESULTADOS

Durante el ascenso de la sonda, se registraron datos de temperatura y altitud hasta alcanzar los 14.000 metros. La altitud fue medida mediante un sensor barométrico BMP280 conectado al microcontrolador Arduino, y los datos

obtenidos se complementaron con registros de un sensor GPS presente en la sonda de la Universidad de Zaragoza. Sin embargo, a partir de esta altitud, el sistema Arduino dejó de funcionar debido a las bajas temperaturas, interrumpiendo la recopilación de datos y limitando el monitoreo de las condiciones atmosféricas en altitudes superiores.

El vuelo estratosférico, gestionado por el equipo del Proyecto Servet, alcanzó una altitud máxima de 28.803 m, con una velocidad de ascenso de entre 3 y 4 m/s. Durante el descenso, la velocidad máxima registrada fue de 51 m/s, reduciéndose a 5 m/s en el momento del aterrizaje. La sonda, inflada con helio, fue lanzada desde Ejea de los Caballeros y aterrizó en Alcañiz.

La Figura 5 muestra la evolución de la altitud y la temperatura durante el vuelo estratosférico. Se observa el ascenso progresivo de la sonda hasta su altitud máxima, acompañado de una drástica disminución de la temperatura. La interrupción de los registros a partir de los 14.000 metros impidió obtener mediciones en las capas más altas de la atmósfera, lo que subraya la importancia de futuras mejoras en la resistencia térmica del sistema de monitoreo.

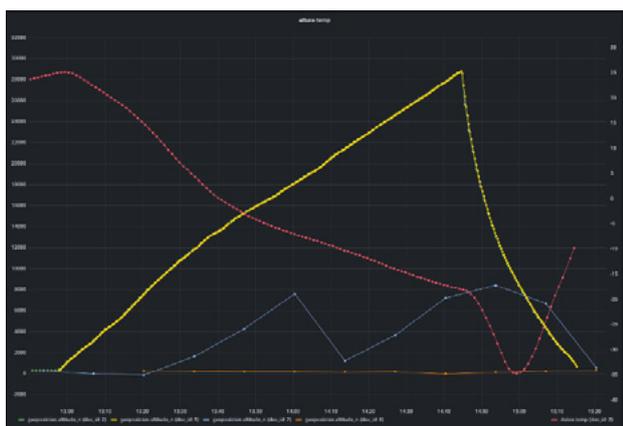


FIGURA 5. Evolución de la altitud y la temperatura durante el vuelo estratosférico.

Para evaluar el recorrido del globo-sonda y las condiciones atmosféricas a las que estuvieron expuestas las muestras de vino, se realizó un seguimiento del vuelo mediante el sistema APRS (Automatic Packet Reporting System).

La Figura 6 presenta dos representaciones complementarias de la trayectoria del globo:



- Imagen izquierda: Registro real de la trayectoria obtenido mediante APRS, evidenciando el desplazamiento desde el punto de lanzamiento hasta el de aterrizaje.
- Imagen derecha: Proyección tridimensional en Google Earth, que permite visualizar con mayor detalle la extensión y dirección del vuelo sobre el terreno.

Ambas representaciones ofrecen una visión completa del desplazamiento del globo, confirmando que la sonda atravesó condiciones atmosféricas extremas antes de su recuperación. Esta información es clave para contextualizar los resultados del análisis del vino y evaluar el impacto del entorno estratosférico en sus propiedades fisicoquímicas.

Paralelamente, se llevó a cabo un análisis fisicoquímico del vino, realizando una evaluación inicial antes del viaje a la estratósfera y un segundo análisis tras su exposición a las condiciones extremas. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos, permitiendo observar las desviaciones en las distintas muestras tras su paso por la estratósfera, en relación con las principales variables estudiadas en el análisis del vino.

En el análisis cualitativo, realizado mediante una evaluación visual directa, el vino tinto fue



FIGURA 6. Trayectoria real del globo-sonda registrada mediante el sistema APRS y su proyección en Google Earth.

calificado como 'vino oxidado' tras el experimento, al apreciarse un notable oscurecimiento y pérdida de brillo en su tonalidad. La tonalidad del vino disminuyó de 0.804 a 0.785, lo que indica una alteración en la composición fenólica, posiblemente por oxidación. Los va-

lores de A420, A520 y A620 (índices de color relacionados con la intensidad y tonalidad del vino) aumentaron, lo que sugiere que el color ha cambiado y se ha oscurecido en ciertas tonalidades. El A420 (amarillo) pasó de 0.6286 a 0.7388; el A520 (rojo) pasó de 0.7819 a 0.9411 y

TABLA 1. Análisis antes y después de haber enviado las muestras de vino a la estratosfera.

	Vino tinto			Vino blanco		
	Antes	Después	Diferencia /A-D/	Antes	Después	Diferencia /A-D/
Acidez Volátil (g/L)	0,68	0,69	0,01	0,31	0,33	0,02
Glucosa y Fructosa (g/L)	0,9	1	0,1	0,2	0,1	0,1
Ácido Málico (g/L)	0,29	0,29	0	2,69	2,66	0,03
Acidez total TH2 (g/L)	5,23	5,24	0,01	6,32	6,31	0,01
Dióxido de azufre total (mg/l)	72	49	23	122	116	6
pH	3,72	3,72	0	3,34	3,34	0
Dióxido de azufre libre (mg/L)	12	2	10	11	5	6
Índice de color	7,9794	9,6079	2,6285	0,08	0,044	0,036
A420	0,6286	0,73388	0,1102	0,0092	0,0088	0,0004
A520	0,7819	0,9411	0,1592	0	0	0
A620	0,1854	0,2417	0,0563	0	0	0
Índice de Polifenoles totales	68,99	69,92	0,93	18,06	38,1	20,04
Etanol (% vol.)	13,81	13,7	0,11	12,92	12,84	0,08
Ácido Láctico (mg/L)	2,05	1,98	0,07	0,08	0,02	0,06
Glucosa (g/L)	0,03	0,04	0,01	0,38	0,42	0,04
Azúcares reductores (g/L)	2,4	2,7	0,3	1,2	1,2	0
Ácido Tartárico (g/L)	1,93	1,94	0,01	3,05	3,02	0,03
Ácido Glucónico (g/L)	0,5	0,57	0,07	0,4	0,41	0,01
Acidez total (g/L)	3,42	3,42	0	4,13	4,12	0,01
Ácido cítrico (g/L)	0,13	0,12	0,01	0,4	0,39	0,01
Tonalidad =A420/A520	0,804	0,785	0,019	-	-	-
Densidad (g/mL)	0,9934	0,9937	0,0003	0,9913	0,9916	0,0003
Observaciones	Vino oxidado.			Oxidado con pérdida de color.		

el A620 (azul/violáceo) pasó de 0.1854 a 0.2417. Estos cambios cromáticos pueden indicar una oxidación acelerada de los compuestos fenólicos debido a la radiación ultravioleta extrema.

El estudio determinó una disminución significativa del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Por un lado, el dióxido de azufre total se redujo de 72 mg/L a 49 mg/L, con una diferencia de 23 mg/L. Y el dióxido de azufre libre bajó de 12 mg/L a 2 mg/L. Esta reducción drástica en el dióxido de azufre indica que la protección antioxidante del vino ha disminuido notablemente, facilitando los procesos de oxidación. Dado que el  $\text{SO}_2$  se usa para estabilizar el vino, su reducción en la estratósfera puede haber acelerado la degradación de ciertos compuestos orgánicos.

En lo que respecta a los cambios en la acidez se puede indicar que no hubo cambios significativos en la acidez global del vino. El pH se mantuvo en 3.72 mientras que la acidez volátil aumentó levemente de 0.68 a 0.69, lo que puede indicar la formación de compuestos secundarios en el proceso de oxidación. Por otro lado, el ácido cítrico se redujo de 0.13 a 0.12, lo que podría estar relacionado con la descomposición de ciertos compuestos ácidos en condiciones extremas.

Con respecto a la variación de los azúcares residuales, se observó que la glucosa y fructosa aumentaron de 0.9 g/L a 1.0 g/L, lo que sugiere una ligera descomposición de estructuras más complejas en azúcares más simples. Este aumento podría estar relacionado con la degradación parcial de polisacáridos presentes en el vino, como las gomas o pectinas, en respuesta a las condiciones extremas de radiación ultravioleta y baja presión durante la exposición estratosférica. Este fenómeno ha sido descrito en otros estudios donde la radiación puede romper enlaces glicosídicos, liberando monosacáridos.

Por otra parte, se detectó un incremento en el ácido glucónico, que pasó de 0.50 g/L a 0.57 g/L. El ácido glucónico es un compuesto

que se forma habitualmente por oxidación de azúcares como la glucosa, mediante procesos enzimáticos o químicos, y en este caso puede ser considerado un marcador indirecto de procesos oxidativos que afectan al vino durante su exposición a condiciones extremas. Su aumento indica la existencia de reacciones de oxidación, probablemente potenciadas por la disminución de dióxido de azufre, que redujo la capacidad antioxidante del vino.

Finalmente, se observó un leve incremento en el índice de polifenoles totales, de 68.99 a 69.92, que podría indicar una mayor liberación de compuestos fenólicos al medio, posiblemente debido a la desestructuración parcial de las moléculas complejas de taninos y antocianos en condiciones de baja presión. Los polifenoles presentes en el vino, al reaccionar con el oxígeno o al sufrir modificaciones estructurales, pueden generar productos de oxidación que alteran el color y la tonalidad del vino, lo cual se correlaciona con el oscurecimiento observado en el índice de color y las absorbancias A420, A520 y A620.

Por otro lado, si analizamos los resultados obtenidos para el vino blanco podemos ver como de primeras se observa que aparece "oxidado con pérdida de color". La disminución del índice de color y de otros parámetros relacionados con la intensidad cromática sugiere que la radiación ultravioleta y las condiciones extremas de la estratósfera (bajas temperaturas y presión reducida) pudieron alterar los pigmentos del vino, provocando una degradación de su color. Por otro lado, se observó, una disminución del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) de 122 mg/L a 116 mg/L, lo que implica una reducción de 6 mg/L y el F- $\text{SO}_2$  ( $\text{SO}_2$  libre) se reduce drásticamente de 11 mg/L a 5 mg/L. Esto indica que el dióxido de azufre, que se usa como conservante y antioxidante en el vino, se ha reducido significativamente, probablemente debido a la interacción con el oxígeno en condiciones extremas. Una menor cantidad de  $\text{SO}_2$  libre puede contribuir a la oxidación del vino.

Con respecto a los cambios en la acidez del vino blanco podemos observar que el pH se mantiene constante en 3.34, lo que sugiere que la acidez global no ha cambiado drásticamente. Sin embargo, la acidez volátil aumenta ligeramente de 0.31 g/L a 0.33 g/L, lo que puede estar relacionado con una leve degradación de compuestos ácidos, potencialmente afectando el perfil aromático del vino. La acidez total muestra una leve reducción, lo que podría estar relacionado con la degradación de algunos ácidos orgánicos en respuesta a las condiciones extremas. Además, se observa una disminución del ácido málico de 2.69 g/L a 2.66 g/L, lo que podría deberse a reacciones químicas inducidas por el ambiente de la estratósfera.

Con respecto a la disminución de los azúcares en el vino blanco podemos ver como la cantidad de glucosa y fructosa han disminuido de 0.2 g/L a 0.1 g/L, lo que indica una ligera degradación de los azúcares residuales, posiblemente por efecto de la radiación UV extrema. Se observa un notable aumento del índice de Polifenoles Totales (IPT) después de la exposición (de 18.06 a 38.1), lo que indica una mayor presencia de compuestos fenólicos en solución. Este fenómeno podría deberse a la ruptura de estructuras más complejas de los polifenoles por la radiación o a la oxidación de ciertos compuestos fenólicos.

Cabe señalar que los datos presentados en la Tabla 1 no incluyen las incertidumbres asociadas a las mediciones, por lo que las diferencias observadas entre los valores obtenidos antes y después del vuelo deben interpretarse con cautela. Aunque no se dispone de una estimación numérica precisa de los márgenes de error, el número de decimales reflejados en los datos ofrece una aproximación al nivel de precisión de las medidas y al orden de magnitud de sus posibles incertidumbres.

Adicionalmente cabe destacar que no se ha documentado con precisión el intervalo de tiempo transcurrido entre ambos análisis, lo que introduce una variable no controlada en la interpretación de los resultados. La ausencia

de una muestra de control que permaneciera en Tierra durante el mismo periodo impide aislar completamente los efectos de la exposición estratosférica frente a posibles cambios asociados al envejecimiento natural del vino. En futuras implementaciones del proyecto, se propone registrar este intervalo temporal de manera precisa e incorporar muestras de control, permitiendo un análisis comparativo más riguroso y garantizando la validez de las conclusiones.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La combinación del enfoque STEM y el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se ha mostrado como una estrategia eficaz para desarrollar la competencia científica del alumnado, permitiéndoles aplicar el método científico en un contexto real y significativo. En este caso, la experimentación con variables fisicoquímicas del vino y su exposición a la estratósfera facilitó un aprendizaje conectado con la realidad profesional de la industria vinícola y con procesos científicos y tecnológicos relevantes. Además, la construcción y lanzamiento de la sonda estratosférica supuso un desafío interdisciplinario que vinculó la enseñanza de las ciencias con la tecnología aeroespacial y la investigación experimental.

Desde el punto de vista experimental, el análisis de las muestras de vino antes y después de su exposición a la estratósfera mostró diferencias notables entre vinos tintos y blancos. El vino blanco sufrió una mayor pérdida de color, probablemente por degradación de pigmentos debido a la radiación ultravioleta, mientras que el vino tinto presentó una oxidación más intensa, reflejada en la reducción drástica de  $\text{SO}_2$  y en cambios cromáticos. Asimismo, los azúcares disminuyeron en el vino blanco y aumentaron en el tinto, lo que podría indicar diferencias en la estabilidad de los compuestos orgánicos. Por otro lado, la acidez se mantuvo relativamente estable. Estos resultados evi-

dencian que la estratósfera afecta de manera diferenciada a cada tipo de vino, abriendo nuevas líneas de investigación sobre conservación y envejecimiento en condiciones extremas.

Sin embargo, los datos presentados en la Tabla 1 no incluyen las incertidumbres de las mediciones, lo que limita la valoración precisa de la significación de las diferencias observadas. Aunque el número de decimales refleja las cifras significativas, no permite valorar los márgenes de error. Esta limitación ofrece una oportunidad pedagógica clave para enseñar al alumnado la importancia de considerar la incertidumbre y la validez de las conclusiones científicas, aspecto que podría abordarse en futuras ediciones mediante análisis estadísticos y reflexión crítica.

En cuanto al proceso técnico, la integración de sensores y sistemas de captación de datos permitió al alumnado registrar información relevante sobre las condiciones estratosféricas, aunque el fallo del Arduino a los 14.000 metros por las bajas temperaturas limitó la recogida de datos. Para solventar esta dificultad, se propone incorporar un pequeño sistema de calefacción, como una resistencia, que mantenga los sensores operativos. Esta mejora podría formar parte del proceso de aprendizaje del alumnado, encargándose de su diseño y prueba, por ejemplo, mediante simulaciones en una cámara frigorífica. También se recomienda incluir muestras de control que permanezcan en Tierra, con el fin de facilitar al alumnado la comprensión del papel de los controles experimentales en la validación de hipótesis, mejorando así la validez de las conclusiones.

Desde una perspectiva pedagógica, el uso de un producto regional como el vino permitió abordar contenidos de Química, Biología, Física y Tecnología desde una visión interdisciplinaria, conectando el aprendizaje con el entorno socioeconómico del alumnado. Aunque no se ha realizado una evaluación formal del impacto educativo, el seguimiento del proyecto se llevó a cabo a través de observaciones sistemáticas del profesorado y de la valoración

directa de la participación activa del alumnado en las distintas fases del trabajo, lo que permitió identificar un alto grado de implicación y motivación. Estos indicios sugieren que este enfoque puede favorecer aprendizajes significativos y contextualizados. No obstante, se reconoce la necesidad de incluir en futuras ediciones instrumentos específicos, como cuestionarios, entrevistas o diarios reflexivos, que permitan recoger evidencias sistemáticas y contrastables sobre el desarrollo de competencias científicas, pensamiento crítico e integración interdisciplinaria.

Asimismo, se propone ampliar el proyecto con actividades de reflexión y análisis, como debates, simulaciones de congresos científicos y círculos de discusión, que permitan al alumnado formular hipótesis, discutir errores y analizar los resultados. Además, el análisis de las imágenes captadas durante el vuelo podría dar pie a debates sobre física y geografía (como la posibilidad de observar la curvatura de la Tierra) y sobre la influencia de la atmósfera en la percepción visual. También se podrían introducir contenidos de óptica y química de materiales analizando el efecto del envasado (vidrio o plástico) en la filtración de radiación ultravioleta, así como reflexionar sobre fenómenos como la radiación cósmica, la posible contaminación de las muestras por microbios atmosféricos o el papel de la atmósfera y la magnetosfera como barreras frente a la radiación de alta energía.

En definitiva, los resultados del proyecto muestran que la combinación de experimentación científica, uso de tecnologías avanzadas y vinculación con productos regionales constituye una estrategia eficaz para mejorar la motivación del alumnado, promover un aprendizaje contextualizado y fortalecer la enseñanza de las ciencias. Además, iniciativas de este tipo contribuyen al desarrollo de competencias clave para el siglo XXI, como el trabajo en equipo, la resolución de problemas complejos y la toma de decisiones basadas en evidencia. No obstante, se reconoce la necesidad de incor-

porar mejoras experimentales y didácticas, que permitan enriquecer el potencial formativo de la experiencia y garantizar su transferibilidad a otros contextos educativos.

### Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en relación con este estudio. No se ha recibido financiación ni apoyo de ninguna entidad que pudiera influir en los resultados o en la interpretación de los datos presentados.

### Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Proyecto Servet de la Universidad de Zaragoza por su valiosa colaboración en el diseño y desarrollo de la sonda utilizada en esta investigación. Su apoyo técnico y científico ha sido fundamental para la realización de este estudio.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a la Bodega Marqués del Atrio de Mendavia por su generosa disposición a colaborar en el análisis del vino, proporcionando el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo las pruebas pertinentes. Su implicación ha sido clave para enriquecer nuestra investigación con datos relevantes y de alta calidad.

Además, agradecemos la oportunidad de visitar sus instalaciones, lo que nos permitió conocer de primera mano los procesos de producción y la tradición vitivinícola que caracteriza a esta bodega. Dicha experiencia no solo ha contribuido al rigor de nuestro estudio, sino que también ha puesto en valor los productos de la región de La Rioja, resaltando la importancia del sector vitivinícola en la identidad cultural y económica de la zona.

Finalmente, queremos agradecer a todas las personas e instituciones que, de una u otra forma, han apoyado este trabajo, contribuyendo con su conocimiento y experiencia a la consecución de nuestros objetivos.

### Financiación

Este estudio no ha recibido financiación por parte de ninguna entidad pública, privada o comercial.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre Buj M. S. y Cuetos Revuelta M. J. (2021) Sensores y equipos de captación automática de datos en los trabajos prácticos de Física y Química de Secundaria y Bachillerato: el uso de Arduino. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1202. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1202](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1202)

Benlaghrissi, H. y Ouahidi, L.M. (2024). The impact of mobile-assisted project-based learning on developing EFL students' speaking skills. *Smart Learn. Environ. Smart Learning Environments*. 11, 18. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00303-y>

Caamaño, A. (2018). Enseñar química en contexto: un recorrido por los proyectos de química en contexto desde la década de los 80 hasta la actualidad. *Educación química*, 29(1), 21-54. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63686>

Chamrat, S., y Suyamoon, P. (2024). The development of teacher interns' competencies of science instructional design and implementation using stem activity based on DIY, tinker and maker frameworks. *Journal of Technology and Science Education*, 14(4), 990-1010. <https://doi.org/10.3926/jotse.2225>

Domènech-Casal J., Lope S., y Mora LI. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre el Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 16 (2), 2203. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i2.2203](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203)

- Espinosa Castillo, E., Petra García Santiesteban, N., Zardón Molerio, O., y Ortiz León, M. (2024). El desarrollo de la Interdisciplinariedad y la introducción de resultados científicos en la formación de docentes de Química. *Didácticas Específicas*, (30), 48-63. <https://doi.org/10.15366/didacticas2024.30.004>
- Freeman, S., Eddy, S., McDonough, M., Smith, M., Okoroafor, N., Jordt, H., y Wenderoth, M. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- García-Piqueras, M. y Sotos Serrano, M. (2021) Regeneración forestal tras un incendio: complejidad y protocolos en una aproximación STEM transversal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1201. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1201](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1201)
- Kilpatrick W.E. (1918). *The Project Method: the use of the purposeful act in the educative process*. Teachers college, Columbia University.
- Lima, B. B., Lima, L. C., y Vasconcelos, T. S. L. (2024). Educación del Campo, Currículo y la construcción de la identidad campesina en la Escuela De Enseñanza Media Francisco Araújo Barros (Itarema, Ceará, Brasil). *Didácticas Específicas*, (30), 34-47. <https://doi.org/10.15366/didacticas2024.30.003>
- Martín, O. y Santaolalla, E. (2021). Un encuentro enriquecedor: La Educación STEM y el enfoque las IM. *Educación y Futuro: Revista de investigación aplicada y experiencias educativas*, (45), 35-56. <https://educacionyfuturo.com/article/view/7689>
- Membriela, P. (2001). Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología- Sociedad. Ed. Narcea.
- Pontes, A., Gavilán, J., Obrero, M., y Flores, A. (2017). Diseño y aplicación educativa de un programa de simulación para el aprendizaje de técnicas experimentales con sistemas de adquisición de datos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 251-267. [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2006.v3.i2.07](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i2.07)
- Pozo J. I. y Gómez M. A. (2009) *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata.
- Prima E. C., Karim S., Utari S., Ramdani R., Putri E. R. R. y Darmawati S. M. (2017) Heat Transfer Lab Kit using Temperature Sensor based Arduino TM for *Educational Purpose*. *Procedia Engineering* 170, 536-540. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.085>
- Quigley C.F., Herro D., King E. y Plank, H. (2020) STEAM Designed and Enacted: Understanding the Process of Design and Implementation of STEAM Curriculum in an Elementary School. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09832-w>
- Rywalt C. E., Varney M. E. y Mutton Z. M. (2019) *Physics Education Research on Inexpensive Active-Learning Lab Modules*. Worcester Polytechnic Institute.
- Vázquez, S., Núñez, G., Pereira, R. y Cattáneo L. (2008). Una estrategia integradora en la enseñanza de las ciencias naturales: aprendiendo sobre un producto regional. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 5(1), 39-61. [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2008.v5.i1.05](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i1.05)
- Zhao, Y. y Wang, L. (2022). A case study of student development across project-based learning units in middle school chemistry. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*. 4, 5. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00045-8>