

**MÁSTER DE PROFESOR DE EDUCACIÓN  
SECUNDARIA OBLIGATORIA Y  
BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL  
Y ENSEÑANZA DE IDIOMAS  
ESPECIALIDAD DE FÍSICA Y QUÍMICA**



---

**Universidad de Valladolid**

**Diseño de proyectos STEAM en la  
enseñanza de la Física y la Química**

**Autora: Cristina Lobos Martín**

**Tutora: Dra. Sandra Laso Salvador**

**Curso 2024-2025**

## RESUMEN:

Este Trabajo de Fin de Máster desarrolla una propuesta didáctica basada en el enfoque STEAM y la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), utilizando el diseño, construcción y lanzamiento de cohetes escolares como recurso interdisciplinar para la enseñanza de Física y Química en 4º de ESO. La propuesta surge como respuesta a las problemáticas estructurales de la educación científica en secundaria, tales como la desmotivación del alumnado, la desconexión entre el currículo y la realidad, y la escasez de experiencias experimentales. A través del diseño de un marco metodológico integral flexible y adaptativo, se integran competencias clave de la LOMLOE, contenidos curriculares y dimensiones creativas, con herramientas de evaluación formativa centradas en procesos. El trabajo ofrece recursos prácticos, rúbricas y secuencias modulares para su implementación, adaptables para los diversos contextos educativos. Aunque aún no ha sido validado en aula, se presentan líneas de prospectiva para su aplicación, así como estrategias para garantizar su inclusividad, sostenibilidad y viabilidad tecnológica.

Palabras clave: ABP, Enfoque STEAM, coherencia escolar, ESO, Enseñanza de Física y Química, Propuesta Metodológica.

## ABSTRACT:

This Master's Thesis develops a didactic proposal based on the STEAM approach and the Project-Based Learning (PBL) methodology, using the design, construction, and launch of school rockets as an interdisciplinary approach for teaching Physics and Chemistry in 4th year of ESO. The proposal arises as a response to the structural problems of scientific education in secondary school, such as student demotivation, the disconnect between the curriculum and reality, and the scarcity of experimental experiences. Through the design of a flexible and adaptive methodological framework, key competencies of the LOMLOE, curricular content, and creative dimensions are integrated with process-centered formative assessment tools. The project offers practical resources, rubrics, and modular sequences for its flexible implementation in various educational contexts. Although it has not yet been validated in the classroom, prospective lines for its application are presented, as well as strategies to ensure its inclusivity, sustainability, and technological viability.

Keywords: Project-Based Learning, STEAM focus, school rocketry, ESO, Teaching of physics and chemistry, methodological proposal.

1.	JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2.	OBJETIVOS.....	11
2.1.	Objetivo General.....	11
2.2.	Objetivos Específicos.....	11
3.	MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL .....	12
3.1.	Contexto legislativo.....	12
3.2.	Dificultades y desafíos en la enseñanza de Física y Química en la ESO.....	13
3.3.	El enfoque STEAM en la enseñanza de las ciencias .....	16
3.3.1	Definición.....	16
3.3.2.	Viabilidad del enfoque STEAM en Educación Secundaria: evidencia y oportunidades.....	18
3.4.	ABP como metodología activa y su impacto en la enseñanza de FyQ .....	20
3.4.1.	Definición y características del ABP .....	21
3.4.2.	Importancia del ABP en la enseñanza de la ciencia .....	22
3.4.3.	Implementación del ABP en el aula .....	22
3.5.	Marco metodológico sinérgico entre ABP y STEAM .....	24
3.6.	El uso didáctico de cohetes como herramienta interdisciplinar .....	26
3.6.1.	Implementación .....	26
3.6.2.	Fomento de vocaciones STEM.....	27
3.6.3.	Fundamentación curricular .....	28
4.	Diseño de la propuesta.....	32
4.1.	Estructura de la propuesta .....	32
4.2.	Diagnóstico.....	33
4.2.1.	¿Por qué proponemos este recurso?.....	33
4.2.2.	¿Cómo lo llevaremos a cabo? .....	34
4.2.3.	¿Qué situación tenemos? .....	35
4.2.4.	¿Cómo podemos valorar esta situación? .....	35
4.2.5.	¿Es este proyecto el adecuado para nuestros objetivos educativos? .....	35
4.3.	Objetivos .....	36
4.3.1.	¿Para qué proponemos este recurso? .....	36
4.3.2.	¿Qué queremos conseguir? .....	36
4.3.3.	¿Cómo lo conseguiremos?.....	36
4.4.	Actuación .....	39
4.4.1.	¿Qué vamos a hacer para conseguirlo?.....	39
4.4.2.	¿Qué tipos de cohetes existen? .....	39

4.4.3. ¿Qué recursos necesitaremos? .....	42
4.4.4. ¿Qué pasos seguiremos para llevar a cabo nuestro proyecto? .....	44
4.5. Implementación.....	44
4.5.1. Formulación de una pregunta esencial .....	44
4.5.2. Planificación del proyecto .....	51
4.5.3. Organización del tiempo y recursos .....	53
4.5.4. Monitoreo .....	58
4.5.6. Presentación y evaluación .....	59
4.6. Evaluación.....	60
4.6.1. Evaluación del alumnado.....	60
4.6.2. Evaluación del profesorado .....	64
4.6.3. Evaluación del ABPxSTEAM.....	64
5. CONCLUSIONES.....	66
5.1. Limitaciones y prospectiva.....	66
5.1.1. Limitaciones del trabajo .....	66
5.1.2. Limitaciones del proyecto .....	66
5.2. Líneas de prospectiva y propuestas de mejora .....	67
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
7. ANEXOS.....	74
7.1 Tipos de cohetes .....	74
7.2 Rubrica evaluación del CEP .....	78
7.3 Rubrica sobre la reflexión del tema.....	79
7.4 Guía para comenzar a diseñar un Proyecto ABP .....	82
7.5 Rúbrica objetivos SMART en un proyecto ABP STEAM .....	85
7.6 Rúbrica ejemplo: Búsqueda y Selección de Información Fiable.....	87
7.7 Rúbricas para la Evaluación del Proyecto de Cohetes .....	88
7.8 Gestión del Aula y Seguridad en Proyectos de Cohetes.....	90
7.9 Rúbrica de Evaluación de la Actuación Docente en Proyectos ABP-STEAM .....	91

Tabla.1: Diferencias de definición de STEAM según autores .....	17
Tabla 2: Diferencias de definición de STEAM según autores .....	24
Tabla 3: Ejemplos del coste de distintos cohetes .....	27
Tabla 4: Grado de contribución al logro de los objetivos de etapa, donde +++ significa mayor incidencia y + menor. ....	31
Tabla 5: Atribución a competencias clave donde +++ significa mayor incidencia y + menor. ....	31
Tabla 6: Convergencia con las competencias específicas del currículum de 4º ESO en CyL con del proyecto propuesto.....	37
Tabla 7: Rúbrica para aplicar el método SMART en este tipo de proyecto. ....	39
Tabla 8: Compatibilidad de objetivos relacionados con los contenidos curriculares de 4ºESO. ....	45
Tabla 9: Compatibilidad del trabajo propuesto con los criterios de evaluación.....	48
Tabla 10: Recursos sugeridos para proyectos con cohetes.....	51
Tabla 11: Temporalización unidisciplinar breve .....	54
Tabla 12: Temporalización multidisciplinar intensiva .....	55
Tabla 13: Temporalización óptima.....	56
Tabla 14: Productos de evaluación.....	57
Tabla 15: Instrumentos de evaluación. ....	61

## 1. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las asignaturas de Física y Química constituyen pilares insustituibles en la formación de los estudiantes de Educación Secundaria no sólo por su capacidad para explicar los fundamentos que le dan forma al mundo natural, sino también por su papel como motor del progreso social y tecnológico.

En un contexto global marcado por desafíos como la transición energética o la sostenibilidad ambiental, estas disciplinas proporcionan las herramientas conceptuales necesarias para comprender y actuar en lo que se refiere a éstas (UNESCO, 2015). Su relevancia en este ámbito queda reflejada en el currículo de la LOMLOE (BOE, 2020), donde estas se integran explícitamente en el ámbito científico-tecnológico, vinculadas a competencias clave como la resolución de problemas complejos o la toma de decisiones basadas en evidencias.

Más allá de su utilidad práctica concreta, la Física y la Química son esenciales para desarrollar un pensamiento crítico y riguroso. Estudios como el informe PISA (PISA, 2018) destacan que las habilidades fomentadas por estas materias, como el análisis de datos o la modelización de fenómenos, son predictores de éxito en un mercado laboral cada vez más demandante de perfiles STEM. Sin embargo, su valor trasciende lo profesional: al abordar temas como el cambio climático o la ética en la innovación tecnológica, preparan a los jóvenes para ejercer una ciudadanía activa y responsable (Acevedo et al., 2017). En este sentido, su enseñanza no es solo una cuestión académica, sino una inversión en la capacidad de la sociedad para enfrentar los retos del futuro.

Sin embargo, y a pesar de su importancia, la enseñanza de la Física y la Química en España enfrenta desafíos críticos, reflejados tanto en resultados académicos como en la percepción del alumnado. Los datos revelan un panorama alarmante: en la última edición del informe (PISA, 2022), España se situó en el puesto 28 de 37 países en competencia científica, con un 22% de estudiantes por debajo del nivel básico (Educación, Formación Profesional y Deportes, 2022). Esta situación se agrava en el caso específico de la Física y la Química, donde los estudiantes muestran un menor interés comparado con otras ciencias; sólo el 38% de los alumnos europeos valoran positivamente estas disciplinas (ERIC, 2011). En el contexto nacional, estudios confirman que, en 4º de ESO, estas asignaturas se perciben como "abstractas" y "difíciles", ocupando los últimos puestos en preferencia frente a materias como Tecnología o Biología (Esteve & Solbes, 2017).

Además, este fenómeno se agrava al considerar la dimensión afectiva del aprendizaje, es decir, las actitudes, el interés y la autopercepción de los estudiantes para con la asignatura, la cual incide directamente en su capacidad para adquirir y retener conocimientos (Manassero-Mas & Vázquez-Alonso, 2019). Pese a las reformas educativas orientadas a mejorar estos resultados, los enfoques pedagógicos predominantes siguen siendo tradicionalmente transmisivos, fragmentados y alejados de contextos reales (Bybee, 2015), lo que limita su potencial para generar *engagement* o comprensión profunda en el alumnado.

Este desinterés tiene implicaciones directas en la continuidad de estudios en disciplinas STEM. En 2022, el porcentaje de titulados universitarios en estas áreas en España fue del 18,7%, un número que se encuentra muy por debajo de la media europea del 26% y lejos de países como Alemania (36%) o Finlandia (29%) (Nova Ciencia, 2025). Además, entre

2013 y 2022, España experimentó una caída de más de seis puntos porcentuales en esta categoría, mientras que paralelamente la media de la UE-27 creció en 1,2 puntos. Esta brecha no solo refleja una tendencia preocupante en el plano universitario, sino que también está arraigada en etapas educativas anteriores, como la Educación Secundaria Obligatoria, donde se gestan las actitudes iniciales hacia la ciencia.

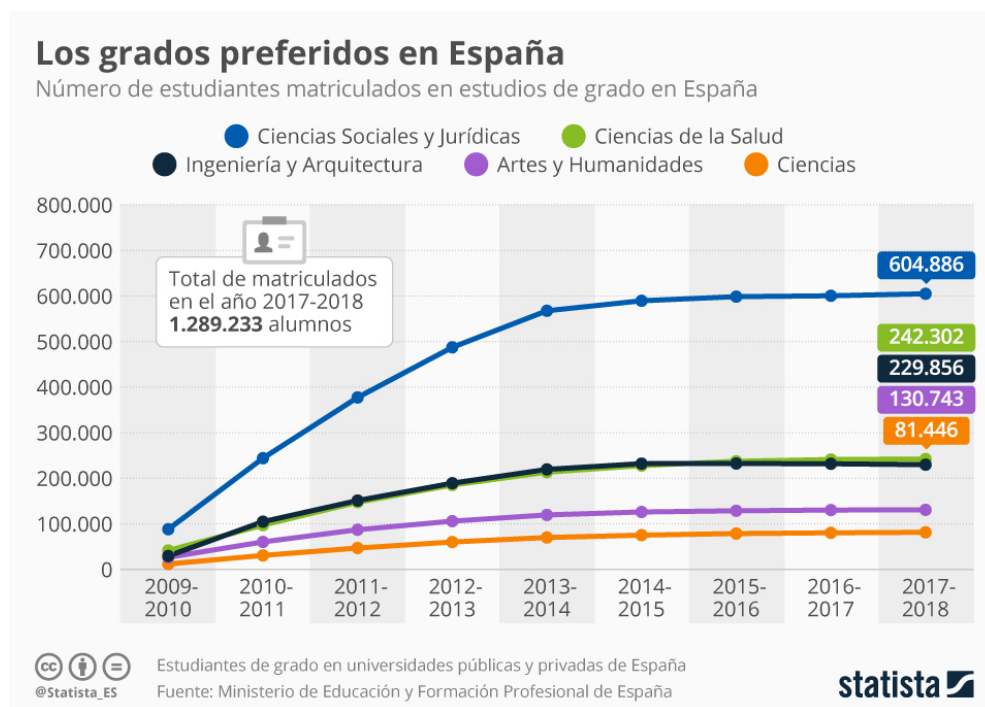


Ilustración 1 Gráfica comparativa del número de matriculados en diferentes estudios de grado (Núñez-Torrón, 2019).

En términos netos, como muestra la Ilustración 1, tan solo 81.446 estudiantes de 1.289.233 se han matriculado en un estudio de grado en las áreas científicas. Esto es un 6,318% del todo.

Los factores detrás de esta problemática general son multifacéticos:

- Metodologías obsoletas: Persiste un enfoque tradicional centrado en la memorización de fórmulas y la resolución de ejercicios descontextualizados (Elizondo Moreno et al., 2018), lo que limita la capacidad de los estudiantes para vincular los conceptos con aplicaciones reales.
- Falta de recursos experimentales: El 40% de los docentes de secundaria en España señala la escasez de laboratorios equipados como barrera para implementar prácticas significativas (Informe ENCIENDE, 2011).
- Prejuicios socioculturales: La idea de que estas materias son "para genios" o "ajenas a la vida cotidiana" sigue arraigada, especialmente entre las alumnas, como evidencia el bajo porcentaje de mujeres que eligen itinerarios científicos en Bachillerato (27% según el INE, 2023) (NIE, 2023).

Esta triple crisis académica, motivacional, emocional y de recursos exige soluciones innovadoras. Como señala el informe *Science Education for Responsible Citizenship*

(ERIC, 2011), superarla requiere transformar las aulas en espacios de indagación, donde la teoría se conecte con problemas relevantes.

Ante los graves problemas de desinterés y bajo rendimiento en Física y Química que presentan los estudiantes españoles, el enfoque STEAM, acrónimo de *Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics* o en español Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas, emerge como una respuesta pedagógica especialmente adecuada para transformar esta situación. Este modelo, cuando se implementa mediante Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), aborda directamente las tres carencias principales identificadas en nuestro sistema educativo, ya que la fuerza transformadora del STEAM reside precisamente en su capacidad para conectar los contenidos científicos con problemas reales y cercanos a los estudiantes y de estimular la dimensión afectiva de su aprendizaje. No se trata simplemente de hacer las clases más entretenidas, sino de cambiar radicalmente el enfoque: que los estudiantes dejen de ser receptores pasivos, sino, por el contrario, investigadores activos que aplican los conceptos científicos a desafíos concretos.

De la misma forma, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una poderosa estrategia pedagógica para revitalizar la enseñanza de las ciencias, particularmente en contextos donde persisten problemas de desmotivación y bajo rendimiento. Al situar a los estudiantes como protagonistas activos de su aprendizaje mediante la resolución de problemas auténticos o con resonancia en su vida cotidiana, el ABP no solo mejora la comprensión conceptual, con incrementos documentados del 15 al 20% en los resultados de aprendizaje (Duque Cardona & Largo Taborda, 2021), sino que transforma radicalmente la actitud hacia las disciplinas científicas. La clave de su eficacia reside en su capacidad para conectar el currículo con los intereses reales del alumnado, fomentando un aprendizaje significativo donde los conocimientos abstractos se aplican a desafíos concretos.

Esta metodología activa desarrolla simultáneamente competencias cognitivas, como el pensamiento crítico y la resolución de problemas y habilidades socioemocionales (trabajo en equipo, comunicación y perseverancia), preparando a los estudiantes tanto para los retos académicos como para las demandas del mundo profesional. Además, al reducir la ansiedad evaluativa mediante instrumentos formativos y centrarse en procesos más que en productos finales, el ABP crea un entorno de aprendizaje seguro que favorece la toma de riesgos intelectuales y la construcción de una identidad científica positiva, especialmente relevante para aquellos estudiantes que tradicionalmente se han sentido excluidos de las disciplinas STEM.

Esta aproximación resulta especialmente valiosa en un sistema educativo como el español, ya que la metodología STEAM, con su énfasis en la creatividad y el uso de materiales accesibles, permite superar las limitaciones prácticas presentes en el mismo. Además, su carácter interdisciplinar responde perfectamente a las exigencias de la LOMLOE, que, como mencionamos anteriormente, promueve explícitamente la integración de saberes y el desarrollo de competencias.

Como se ha señalado, el Aprendizaje Basado en Proyectos constituye una respuesta pedagógica singularmente adaptada a las particularidades del aula española por su capacidad para convertir las limitaciones estructurales en oportunidades de innovación:



Su flexibilidad inherente permite diseñar experiencias de aprendizaje significativas independientemente del nivel de recursos disponibles, aprovechando el contexto local como laboratorio natural de indagación científica. La estructura colaborativa del ABP, donde el conocimiento se construye colectivamente, resulta especialmente valiosa en un sistema educativo que necesita fomentar mayor autonomía y responsabilidad en el alumnado. Al enfocarse en procesos más que en productos finales, esta metodología mitiga las desigualdades derivadas de entornos socioeconómicos diversos, permitiendo que cada estudiante progrese según sus posibilidades mientras contribuye al éxito grupal. Su énfasis en la transferibilidad de competencias a situaciones reales lo convierte en un antídoto eficaz contra el academicismo abstracto que tradicionalmente ha caracterizado la enseñanza de las ciencias en nuestro país. Esta aproximación, que valora tanto el rigor metodológico como la creatividad aplicada, sienta las bases para una transformación profunda de las prácticas docentes, alineándose con las necesidades de una sociedad que demanda ciudadanos capaces de aplicar el conocimiento para resolver problemas complejos.

Los resultados de investigaciones recientes son prometedores: en contextos similares al español, la implementación del ABP bajo el enfoque STEAM ha demostrado no solo mejorar los resultados de aprendizaje (Domènech Casal, 2018), sino que ha logrado transformar la relación emocional de los estudiantes con las ciencias (Alsina, 2020).

Podemos afirmar, entonces, que el enfoque STEAM no es simplemente una metodología alternativa, sino una herramienta poderosa para superar los desafíos específicos que enfrenta la enseñanza de las ciencias en España, alineándose además con las actuales directrices curriculares y con las necesidades formativas de la sociedad del siglo XXI.

Sin embargo, y pese a sus innegables y variados beneficios, se detecta una laguna en la investigación existente: en primera instancia, la mayoría de los estudios sobre ABP-STEAM se concentran en contextos anglosajones o de educación primaria, con escasa evidencia empírica sobre su implementación efectiva en el sistema educativo español, particularmente en 4º de ESO y con foco en asignaturas de ciencias puras como Física y Química (Bybee, 2015; Manassero-Mas & Vázquez-Alonso, 2019).

Por lo tanto, y para superar las limitaciones identificadas en la literatura existente, este trabajo busca generar un diseño metodológico para la creación de la evaluación e implementación de un proyecto STEAM-ABP utilizando la creación y lanzamiento de cohetes. Este tipo de proyectos tiene el potencial de impactar en tres dimensiones críticas del aprendizaje científico en 4º de ESO:

- El rendimiento académico en conceptos clave de Física y Química.
- La autoeficacia científica y motivación intrínseca del alumnado.
- La percepción de utilidad social de estas disciplinas.

Ahora bien, ¿por qué cohetes? La revisión de la literatura evidencia una amplia adopción de proyectos con cohetes en contextos educativos, mostrando resultados consistentes en mejora del rendimiento académico y actitud hacia las ciencias (Tucker & Nowlinf, 2001). Sin embargo, se detecta una brecha significativa: mientras existen numerosas

experiencias puntuales, faltan marcos estructurados que sistematicen su diseño e implementación pedagógica.

Este trabajo viene a llenar ese vacío, proponiendo un modelo de planificación integral que trasciende la actividad concreta para ofrecer:

- Protocolos de diseño adaptables a distintos tipos de cohetes.
- Herramientas de evaluación competencial alineadas con currículos oficiales.
- Estrategias de diferenciación para contextos educativos diversos.

Como demuestran los estudios (Bybee, 2015), esta sistematización es crucial para transformar experiencias aisladas en proyectos replicables que mantengan el rigor académico sin perder la capacidad de *engagement* que caracteriza estas actividades.

La selección de diversos tipos de cohetes como elemento central para el diseño de proyectos educativos se sustenta en su potencial como herramienta de aprendizaje integrado. Esta familia de actividades, que abarca desde cohetes químicos hasta de aire comprimido, encapsula los principios esenciales del enfoque STEAM, convirtiéndose en un recurso de alto valor pedagógico para la enseñanza de las ciencias en educación secundaria.

Desde la perspectiva metodológica, los proyectos con cohetes ofrecen un marco ideal para implementar el Aprendizaje Basado en Proyectos. Su proceso de diseño y construcción sigue fases claramente delimitadas —conceptualización, diseño de prototipos, experimentación y mejora— que reflejan el ciclo completo de la investigación científica. A su vez, cada etapa permite trabajar competencias específicas: desde el pensamiento sistémico durante el diseño inicial, hasta la capacidad de análisis de datos durante las pruebas de lanzamiento.

Abordado de esta forma, la naturaleza interdisciplinar de estas actividades emerge de manera natural. En el plano científico, los estudiantes aplican conceptos fundamentales de física (propulsión, aerodinámica) y química (reacciones de combustión, estabilidad de compuestos). Simultáneamente, ejercitan habilidades matemáticas al calcular trayectorias y analizar resultados, mientras que el componente artístico se manifiesta en el diseño estético y en la comunicación técnica de los hallazgos.

Uno de los aspectos más valiosos de este recurso es su capacidad para generar aprendizajes significativos a través de la experimentación directa. Los estudiantes no sólo comprenden teóricamente conceptos abstractos, sino que los ven materializarse en resultados tangibles y medibles (altura alcanzada, tiempo de vuelo, eficiencia energética). Esta conexión concreta y visible entre teoría y práctica resulta fundamental para superar las dificultades de comprensión que tradicionalmente presentan estos contenidos.

La adaptabilidad de los proyectos con cohetes a distintos contextos educativos los convierte en una solución especialmente adecuada para las aulas. Existen versiones que requieren desde materiales básicos (cohetes de agua o aire comprimido) hasta configuraciones más complejas (cohetes químicos de bajo riesgo), permitiendo múltiples niveles de complejidad según las necesidades del grupo y los recursos disponibles.

Desde la perspectiva evaluativa, estas actividades proporcionan datos cuantitativos objetivos (resultados de los lanzamientos) junto con productos cualitativos (diarios de ingeniería, informes técnicos), permitiendo una valoración integral que combina el aprendizaje conceptual con el desarrollo de competencias transversales. Este enfoque multidimensional se alinea perfectamente con los requisitos de la evaluación competencial establecida por los actuales sistemas educativos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

Diseñar un proyecto con cohetes basado en el enfoque STEAM para la enseñanza de Física y Química en 4º de ESO, orientado a mejorar la motivación del alumnado, facilitar la comprensión de conceptos científicos a través de la experimentación, y fomentar el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas en un contexto de aprendizaje interdisciplinario, con evaluación integral de resultados.

### 2.2. Objetivos Específicos

1. Establecer el contexto actual en la educación científica española en la ESO, específicamente en su 4º nivel educativo.
2. Fundamentar teóricamente la pertinencia del enfoque STEAM y el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como estrategias didácticas para la enseñanza de las ciencias en 4º de ESO, basándose en la revisión de la literatura científica y su alineación con el currículo LOMLOE.
3. Sistematizar los principios pedagógicos que justifican el uso de proyectos con cohetes como recurso didáctico idóneo para la enseñanza integrada de conceptos científicos complejos, el desarrollo de competencias transversales como el trabajo en equipo y la creatividad, así como el fomento de vocaciones científicas y tecnológicas.
4. Diseñar un marco metodológico integral para el desarrollo de proyectos educativos basados en cohetes desde el enfoque STEAM-ABP.
5. Elaborar guías prácticas de implementación que incluyan secuencias didácticas modulares adaptables, adaptaciones metodológicas para entornos con recursos limitados, y estrategias específicas para motivar al alumnado con baja implicación académica.
6. Proponer e implementar instrumentos de evaluación que valoren prioritariamente los procesos de aprendizaje por encima de los productos finales, así como el grado de adquisición de competencias clave vinculadas al currículo oficial y su apreciación emocional respecto a las asignaturas STEM, incorporando protocolos de análisis cuantitativos (rendimiento académico) y cualitativos (análisis de diarios de aprendizaje, autoevaluación, evaluación de pares y de retroalimentación estudiantil) para interpretar los resultados obtenidos en la evaluación del proyecto.

### 3. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

#### 3.1. Contexto legislativo

La Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOMLOE, 2020) representa una reforma estructural orientada a responder a los retos educativos contemporáneos. La LOMLOE responde a una filosofía educativa que prioriza una educación igualitaria, inclusiva y práctica por sobre una excelencia memorística y superficial, apostando por un aprendizaje significativo orientado al desarrollo de competencias críticas, digitales y colaborativas. De esta forma, se busca reenganchar a los alumnos con el aprendizaje como un fin en sí mismo, reducir la brecha educativa agravada por la pandemia, y disminuir las tasas de abandono escolar temprano, que en 2024 aún se sitúa por encima del promedio de la Unión Europea del 9,5% con un 13% (si bien es la cifra más baja registrada hasta ahora, y una disminución de 8,9 puntos porcentuales desde el 2014 (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2025)).

Entre otras medidas, la nueva legislación le ha dado mayor libertad a las Comunidades Autónomas al momento de establecer una porción más que considerable de los contenidos curriculares, si bien ateniéndose a las guías establecidas por el Gobierno central. Esto les permite a las Comunidades orientar sus currículos para responder a sus contextos específicos, creando así mayor flexibilidad en los itinerarios formativos.

No obstante, la implementación de la LOMLOE aún enfrenta desafíos importantes, como ha señalado el Informe 2024 del Consejo Escolar del Estado. Persisten problemas estructurales como el abandono escolar antes mencionado, la brecha digital y la escasa capacitación docente en competencias claves, de la relativa novedad de la legislación. Para abordarlos, se han puesto en marcha numerosas iniciativas, como el programa PROA+ (Ministerio de Educación y Formación Profesional, n.d.), el Week Code EU (EU Code Week, n.d.), y el MIR Educativo, orientado a la mejora de la formación docente (MiRedEducativo, n.d.)

El currículo de la ESO se encuentra establecido a nivel nacional en el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria; en el caso de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, el currículo fue fijado por el Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León.

La asignatura de Física y Química sólo está presente en el currículo de la ESO a partir del segundo año, siguiendo una progresión gradual en la complejidad de los contenidos. Durante segundo y tercer curso su carácter es obligatorio, mientras que en cuarto curso pasa a ser optativa. Esta condición implica un proceso de autoselección por parte del alumnado, que puede interpretarse como un primer indicio del grado de interés hacia esta asignatura, y en general, hacia las áreas STEM (Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y Matemáticas).

En 4º de ESO, se busca consolidar una serie de competencias científicas clave que todo ciudadano debería dominar al finalizar la enseñanza obligatoria, tal como recoge la LOMLOE en su Anexo I. En cuanto a los contenidos específicos reglados por el Real

Decreto 217/2022, el currículo de Física y Química en el 4º curso se articula en torno a cinco grandes bloques, que abordan aspectos tan diversos como el uso correcto del lenguaje científico y de los entornos experimentales, la comprensión de la estructura atómica y la formación de compuestos, el estudio de la energía en sus distintas formas, etc. Estos bloques son:

- Las destrezas científicas básicas
- La materia
- La energía
- La interacción
- El cambio.

Además, el currículo establece competencias específicas vinculadas al pensamiento científico, la metodología investigativa, la comunicación rigurosa de datos, el uso seguro y eficiente de tecnologías, el trabajo colaborativo y la valoración social de la ciencia. Estas competencias se miden a través de criterios de evaluación explícitos y claros, que contemplan no solo el dominio de los contenidos sino también la capacidad del alumnado para aplicarlos a situaciones reales, formular hipótesis, trabajar en equipo y contribuir de forma crítica a la mejora de la sociedad.

Este marco legislativo legitima y favorece la incorporación de metodologías activas, interdisciplinares y orientadas al desarrollo competencial, como el enfoque STEAM en asignaturas como Física y Química.

### 3.2. Dificultades y desafíos en la enseñanza de Física y Química en la ESO

La enseñanza de Física y Química enfrenta retos considerables que ameritan ser observados por turnos.

- **Alta abstracción y complejidad conceptual de la materia**

Debido al alto grado de abstracción y de complejidad conceptual inherente a la Física y Química, esta ha sido tradicionalmente vista como una asignatura de “cerebritos” y “nerds” pues estos son los únicos capaces de acceder a sus contenidos, habitualmente presentados por el profesor al alumnado de una forma confusa e inaccesible.

Para combatir este obstáculo, el currículo definido en el Real Decreto 217/2022 promueve la enseñanza a través de los fenómenos (artículo 11); es decir, una metodología basada en el análisis de situaciones reales. Así, en lugar de abordar la dinámica mediante ejercicios teóricos aislados, se propone estudiar, por ejemplo, la eficiencia energética de vehículos eléctricos como forma de anclar los conceptos abstractos en un contexto práctico y cercano.

- **Bajo desempeño académico**

Esta inaccesibilidad de la asignatura se refleja estadísticamente en los mediocres resultados que ha tenido España de cara a las evaluaciones internacionales, como el Estudio Internacional de Tendencias en Matemáticas y Ciencias (Ministerio de Educación y Formación Profesional, n.d.) o el Programa para la Evaluación Internacional de los

Estudiantes (PISA, 2022) que reflejan un pobre rendimiento de los estudiantes españoles en ciencias, situándose por debajo de la media de la OCDE y la Unión Europea. En concreto, los resultados de TIMSS 2023 muestran que los alumnos de 2º de ESO obtienen una media de 497 puntos en ciencias, muy por debajo del promedio de la OCDE de 526.

Existen también importantes diferencias en el rendimiento académico entre las Comunidades Autónomas; mientras regiones como Castilla y León, Asturias o Madrid presentan puntuaciones que superan la media de la UE, otras como Canarias, Andalucía o Baleares muestran un desempeño significativamente inferior. Estas disparidades evidencian la necesidad de adoptar estrategias educativas contextualizadas que atiendan las particularidades de cada territorio y faciliten una enseñanza más equitativa (Ministerio de Educación y Formación Profesional, n.d.) que permita estabilizar el promedio nacional al disminuir las disparidades cualitativas.

- **Brecha de Género**

A pesar de los avances, persiste una significativa brecha de género que es especialmente visible en el Bachillerato, donde, aunque las chicas son mayoría en el Bachillerato de Artes (70,2%), Humanidades (63,6%) y Ciencias Sociales (55,3%) y casi la mitad en el de Ciencias (47,3%) (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2021), apenas el 20% del alumnado está cursando la asignatura de Física y Química (Kerkhoven et al., 2016).

Con el fin de fomentar la participación femenina en áreas STEM, la LOMLOE contempla el desarrollo de proyectos con impacto social (artículo 24.3) que resulten relevantes y atractivos para todo el alumnado. Los efectos positivos de estas medidas comienzan a ser visibles. De acuerdo con el mismo informe ministerial, se ha observado un aumento en la elección de proyectos de Física y Química aplicada por parte de las alumnas, especialmente en iniciativas vinculadas a problemas STEAM (EsadeEcPol, 2024). Además, existen referentes exitosos de los centros educativos ya han incorporado actividades espaciales como parte de su currículo, lo que refuerza la idea de que el enfoque competencial y contextualizado no solo mejora los resultados académicos, sino también la motivación y la inclusión en el (aulaESERO Spain, n.d).

- **Desconexión entre los contenidos escolares y la vida cotidiana del alumnado**

Otro desafío clave es la desconexión entre los contenidos escolares y la vida cotidiana del alumnado, lo que contribuye a una falta de interés y escasa percepción de utilidad de la asignatura. Para revertir esta situación, y tal como se señaló en relación con la inaccesibilidad conceptual de la materia, la LOMLOE establece un enfoque competencial global (Anexo I), que promueve la integración de Física y Química en el contexto de los retos tecnológicos actuales.

- **Desmotivación del alumnado**

Finalmente, tenemos el desafío más importante de todos, pues es transversal a todas las dificultades educativas antes señaladas: la apatía generalizada que muestran los adolescentes hacia las asignaturas científicas. Esta desmotivación no surge de la nada, sino que es el resultado de una compleja interacción de factores extrínsecos e intrínsecos profundamente arraigados en el sistema educativo y la sociedad en general.

Por el lado extrínseco, tenemos los factores que condicionan el desarrollo de la asignatura en el aula. Como se ha señalado, a pesar del nuevo enfoque promovido por la LOMLOE, persiste una prevalencia de metodologías didácticas de corte tradicional, caracterizadas por la preponderancia de la transmisión teórica y la memorización abstracta en desmedro del aprendizaje experiencial y la experimentación. Esto induce una potente barrera que disuade el involucramiento afectivo por parte del alumnado para con la asignatura, pues a muchos les resulta derechamente inaccesible. Estos hechos van acompañados (y, de hecho, muchas veces ocasionados) por una insuficiente dotación de infraestructura y medios para la demostración o experimentación presencial en laboratorios. Estas carencias se traducen en un detrimento de la capacidad de los alumnos para desarrollar competencias científicas fundamentales, como es la aplicación del mismísimo método científico. Por consiguiente, como la asignatura no puede desarrollarse a cabalidad, los estudiantes nunca alcanzan un entendimiento o apreciación plena de la misma ni de su importancia para sus vidas, por lo que pasan de ella.

Por el lado intrínseco, tenemos los factores que pesan en el comportamiento de los alumnos. Antes se aludió a la percepción de que las asignaturas de Física y Química son de “cerebritos” y “nerds”. Esta percepción, empero, conlleva una valoración negativa y jocosa hacia los mismos, como se ve en distintos productos de la cultura popular como *The Big Bang Theory* o *The Simpsons*, entre otros, donde el “nerd” siempre es objeto de risa por el mero hecho de ser un nerd. Por lo tanto, la idea popular de que las ciencias son conocimientos arcanos inaccesibles para la gente “normal” perpetúa una brecha entre la Física y Química y el alumnado, el que a veces, autoconvencido de que no la podrá entender, ni siquiera lo intenta, mientras que los que pueden entenderla pueden verse disuadidos de perseguirla, ya que, dicho simplemente, serán mofados como “nerds” por ello. Esto podrá sonar trivial o incluso absurdo, pero los informes internacionales como el Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA 2025 - INEE | Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes, n.d.) y estudios de la Comisión Europea (Eurydice, 2011): *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*. Bruselas. Agencia Ejecutiva En El Ámbito Educativo, Audiovisual y Cultural (EACEA P9 Eurydice) - Dialnet, n.d.), respaldan con evidencias empíricas la falta de interés del alumnado por las ciencias en general, y por la Física y la Química en particular.

Adicionalmente, la percepción social de las carreras científicas en España condiciona las expectativas y aspiraciones de los estudiantes. En este sentido, la cultura social española muestra una inclinación anti-intelectual que valora la movilidad social por encima de todo, por lo que el alumnado suele inclinarse en favor de aquellas carreras que puedan asegurarle un sueldo lucrativo antes que alguna que sea de su genuino interés. En este sentido, la implementación de políticas educativas que fomenten la cultura científica, la divulgación de los avances científicos y la promoción de la investigación como motor de desarrollo social y económico se necesita para revertir la tendencia actual.

A esto se le suma la persistencia de estereotipos de género en el ámbito STEM, representando un obstáculo para la equidad en la educación científica. La infrarrepresentación femenina en itinerarios académicos y profesionales, así como la disparidad en el rendimiento en evaluaciones estandarizadas, evidencian la necesidad de implementar estrategias pedagógicas y de sensibilización que promuevan la igualdad de



oportunidades. La mejora en este ámbito estaría alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, más concretamente el ODS5.

No existen soluciones sencillas para esta multifactoriedad de desmotivación estudiantil, puesto a que se extienden por todo el entramado social en el que viven y se informan y perpetúan mutuamente. Dentro de este contexto, la LOMLOE se presenta, pues, como un primer cambio de dirección, al cambiar el enfoque de la educación en favor de la aplicación práctica del conocimiento frente a su mera memorización abstracta. Así, adopta un enfoque pedagógico que busca conectar los contenidos con problemas reales de la sociedad, al usar los contenidos curriculares para explicar fenómenos tales como la crisis climática (a través del estudio de la química atmosférica) o la transición energética (mediante las leyes de la termodinámica). A su vez, se busca fomentar el interés por las vocaciones científicas en su conjunto mediante proyectos vinculados a sectores estratégicos como la ingeniería aeroespacial, la nanotecnología o la biomedicina, persiguiendo en todo momento la consolidación de un pensamiento científico riguroso basado en la formulación de hipótesis, el diseño experimental y el análisis de errores.

Estos desafíos multifactoriales demandan una transformación profunda de la enseñanza de las ciencias, centrada en la motivación, la conexión con la realidad y el desarrollo de competencias. En este sentido, el enfoque STEAM, especialmente cuando se articula mediante metodologías activas como el Aprendizaje Basado en Proyectos, ofrece una vía prometedora para revertir la situación descrita.

### 3.3. El enfoque STEAM en la enseñanza de las ciencias

#### 3.3.1 Definición

El enfoque STEAM (acrónimo de *Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics*) ha sido definido de diversas formas por distintos autores (Martín-Páez et al., 2019). Aunque suele asociarse a STEM, presenta diferencias clave que se detallan a continuación. Mientras que algunos la ven como una modernización de la enseñanza de cada disciplina por separado (Toma & García-Carmona, 2021), otros la conciben como un modelo integrado que permite a los estudiantes resolver problemas de manera holística, replicando la forma en que operan en la vida real (Rahman & Alam, 2022). Esta última visión es la adoptada por instituciones como la Unión Europea y el National Research Council de Estados Unidos.

El enfoque STEAM representa una evolución en la concepción del aprendizaje científico, proponiendo una enseñanza integrada, interdisciplinaria y creativa que responde a las demandas formativas del siglo XXI. A diferencia de los enfoques tradicionales basados en la compartimentalización del conocimiento, STEAM integra distintas áreas del saber con el propósito de desarrollar en el alumnado competencias clave como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la colaboración y la comunicación eficaz. Este enfoque promueve un aprendizaje significativo, contextualizado y orientado a la acción, donde la experimentación y la creatividad desempeñan un papel central (Bautista, 2021).

Como se aludió antes, la similitud entre STEM y STEAM no es coincidencia; incluso podríamos afirmar que el modelo STEAM es una evolución del primero.

El término STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) fue acuñado en la década de 1990 en Estados Unidos como una estrategia para fortalecer las competencias

científicas y tecnológicas en la población estudiantil, ante la creciente demanda de perfiles profesionales en áreas clave para la innovación y la competitividad económica. Sin embargo, en sus primeras formulaciones, el enfoque STEM fue criticado por su excesivo énfasis técnico y su escasa atención al desarrollo creativo y humanista del alumnado (Toma & García-Carmona, 2021). En este contexto, hacia el 2008 comenzó a gestarse el modelo STEAM, que añade la dimensión artística (Arts) con el objetivo de incorporar el pensamiento divergente, la sensibilidad estética y la capacidad expresiva al proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta transformación se vio influida por el auge del movimiento *maker* y la filosofía DIY (*Do It Yourself*), que surgieron en la década anterior promoviendo la cultura de la invención, el aprendizaje autónomo, la experimentación y la creación colectiva (Wyld, 2015). Eventos como la *Maker Faire* (2006) marcaron un punto de inflexión al mostrar cómo la educación podía articular ciencia, tecnología, arte y diseño en experiencias motivadoras y significativas para los estudiantes. Las diferencias llegan más lejos, como demuestra la tabla 1:

*Tabla.1: Diferencias de definición de STEAM según autores*

Dimensión	Enfoque STEM (Morrison, 2006)	Enfoque STEAM (Yakman, 2008)
Objetivo principal	Formar profesionales técnicos competitivos	Desarrollar pensamiento crítico-creativo
Estructura	Disciplinas separadas con aplicaciones técnicas	Integración sistémica con arte como catalizador
Metodología	Solución estructurada de problemas	Exploración abierta con múltiples soluciones
Evaluación	Resultados cuantificables	Procesos + productos (portfolio creativo)

Lejos de ser un simple añadido estético, la creatividad artística impulsa avances científicos. Por ejemplo, el 72% de los desarrollos en ingeniería requieren una capacidad de pensamiento innovador que se mueva "fuera de la caja"(NSF, 2021), algo que las artes estimulan naturalmente. Un caso concreto es la biomímesis, dónde diseños inspirados en la naturaleza —como alas de aviones basadas en aves— mejoran la eficiencia técnica. Además, las artes hacen que la ciencia y las matemáticas sean más accesibles. Reducen la ansiedad ante estos temas hasta en un 31% (Maloney & Beilock, 2012) y ayudan a explicar ideas complejas mediante dibujos, historias o incluso música.

Además, la integración de componentes artísticos y creativos ha demostrado ser particularmente efectiva para reducir la brecha de género en STEM y promover vocaciones científicas entre grupos tradicionalmente subrepresentados. Iniciativas como el proyecto Hypatia (2020) destacan cómo el STEAM puede desafiar estereotipos y ofrecer puntos de entrada diversos al conocimiento científico, contribuyendo así a una educación más equitativa e inclusiva.

Uno de los elementos clave del enfoque STEAM es la integración disciplinar. Según (Martín-Páez et al., 2019), esta integración puede producirse en distintos niveles:

- **Multidisciplinar:** se abordan varias disciplinas en paralelo, pero de forma separada.
- **Interdisciplinar:** se conectan contenidos y metodologías de distintas disciplinas para abordar un mismo problema.
- **Transdisciplinar:** se diluyen las fronteras entre las áreas para generar un conocimiento nuevo, holístico y contextualizado.

En el contexto de la enseñanza secundaria, avanzar desde enfoques multidisciplinarios hacia propuestas interdisciplinarias y transdisciplinarias es un reto necesario para favorecer la comprensión profunda de los fenómenos científicos y su relación con la vida cotidiana.

Desde el plano pedagógico y neurocientífico, el enfoque STEAM se fundamenta en teorías como el constructivismo, el aprendizaje significativo y la cognición situada, que refuerzan su validez didáctica. El aprendizaje significativo, propuesto por David Ausubel (1963), ocurre cuando el nuevo conocimiento se conecta con lo que el estudiante ya sabe de antemano de una forma, bueno, significativa. En el contexto STEAM, esta conexión se maximiza, haciendo que el aprendizaje sea mucho más relevante y duradero. Por otro lado, la teoría de la cognición situada (Brown, Collins & Duguid, 1989) sostiene que el conocimiento no es una entidad aislada, sino que se construye y se comprende mejor dentro de contextos sociales y culturales específicos. El enfoque STEAM abraza plenamente esta idea al proponer situaciones reales que demandan la aplicación práctica de los saberes en colaboración con otros, reflejando cómo se resuelven los problemas en la vida real y en el ámbito profesional.

Se conoce que los aprendizajes que activan múltiples áreas del cerebro (sensoriales, emocionales, motoras y ejecutivas) se consolidan de manera más efectiva. La resolución de problemas que se fomenta en los entornos STEAM estimula precisamente estas redes neuronales, lo que resulta en una mayor retención, transferencia y aplicación del conocimiento (Maloney & Beilock, 2012; Moreira, 2017). En esencia, STEAM no solo enseña a pensar, sino que también optimiza cómo el cerebro aprende y retiene la información de forma duradera.

### *3.3.2. Viabilidad del enfoque STEAM en Educación Secundaria: evidencia y oportunidades*

La integración del enfoque STEAM en Educación Secundaria se apuntala como una estrategia pedagógica no solo viable, sino hasta necesaria para responder a los desafíos educativos contemporáneos. Los resultados de investigaciones recientes y experiencias implementadas en contextos diversos confirman su potencial para transformar la enseñanza de las ciencias, superando las limitaciones de enfoques tradicionales que frecuentemente generan desinterés y dificultades de aprendizaje entre el alumnado. Los estudios destacan que la naturaleza interdisciplinar y experiencial del STEAM favorece un aprendizaje profundamente significativo: al abordar problemas reales mediante proyectos que integran el pensamiento científico con la creatividad artística, los estudiantes desarrollan una comprensión más holística de los conceptos, al tiempo que fortalecen su motivación intrínseca. Datos (Martín-Páez et al., 2019) revelan que este enfoque incrementa significativamente el compromiso cognitivo y emocional de los alumnos, particularmente en áreas tradicionalmente percibidas como complejas.

Cuando el enfoque STEAM se combina con metodologías activas, como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) o el *design thinking* con componentes artísticos ha demostrado mejorar hasta en un 20% la comprensión conceptual (Bautista, 2021). Además, facilita el desarrollo de competencias clave como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la colaboración grupal, habilidades esenciales en la sociedad actual y plenamente alineadas con el perfil de salida establecido por la LOMLOE.

Es más, la implementación del STEAM se articula de manera perfectamente coherente con los principios establecidos por la LOMLOE, especialmente en lo referente al enfoque competencial e interdisciplinario. En el área de Física y Química, por ejemplo, los proyectos STEAM permiten trabajar simultáneamente contenidos conceptuales y competencias científicas a la vez que se fomenta la reflexión sobre cuestiones éticas y sociales relacionadas con la ciencia. Asimismo, este enfoque contribuye de manera directa al logro de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Por si fuera poco, la implantación del enfoque STEAM en educación secundaria cuenta con un sólido respaldo científico que trasciende lo teórico para mostrar resultados tangibles. Diversas investigaciones revelan cómo esta aproximación pedagógica transforma no sólo los resultados académicos, sino la propia relación de los estudiantes con el aprendizaje científico. Un estudio longitudinal publicado en *Science Education* el 2023 con más de 5000 estudiantes demostró que aquellos que participaron en programas STEAM mantuvieron un interés un 23% mayor por las carreras científicas en comparación con grupos de control, efecto que se mantenía incluso tres años después de la intervención. Estos hallazgos coinciden con experiencias españolas como las desarrolladas en el Instituto de Sils (Girona), donde la integración de STEAM mediante colaboraciones con centros de arte contemporáneo ha reducido el abandono en ciencias en un 40% en tres años — una mejora significativa que evidencia la retención de interés científico.

Otros datos reveladores en este ámbito proceden desde la neurociencia. La resolución de problemas STEAM activa simultáneamente redes neuronales vinculadas al razonamiento lógico y la creatividad. Esta coactivación —hasta un 18% más intensa que con métodos tradicionales (Elizondo Moreno et al., 2018)— favorece una mayor retención del conocimiento.

Estos beneficios se acentúan en poblaciones tradicionalmente alejadas de las disciplinas científicas o técnicas. El proyecto europeo Hypatia (2021) mostró que incluir componentes artísticos incrementa notablemente la participación femenina en asignaturas como física y tecnología. De forma similar, se han documentado mejoras en la autoeficacia matemática de estudiantes con dificultades de aprendizaje (Loor et al., 2025).

El panorama general que se nos presenta, entonces, es más que favorable, y las oportunidades emergentes de la mano de las nuevas tecnologías son igualmente prometedoras: la realidad virtual está demostrando ser una aliada excepcional, permitiendo visualizar conceptos abstractos de Química o Física con una eficacia un 35% mayor que los métodos convencionales. Proyectos como “STEAM con Ciencia Ciudadana”, desarrollado en colaboración entre universidades y centros de secundaria, muestran además cómo este enfoque puede trascender las aulas, involucrando a los

estudiantes en investigaciones reales que les permitirán mejorar y aplicar sus competencias, persiguiendo un propósito mayor que un efímero aprobado.

Todo esto no significa, por supuesto, que el enfoque STEAM sea una panacea mágica: detrás de este atractivo panorama aún persisten numerosos desafíos, como es la resistencia docente a su implementación. Ahora bien, la investigación (Beymer et al., 2023) establece que los proyectos STEAM producen mejoras significativas especialmente cuando el profesorado ha recibido al menos 50 horas de formación específica en el diseño de los mismos. De esto se infiere, pues, que el enfoque STEAM es un proceso que debe ser cultivado a conciencia por un profesorado capacitado y comprometido en su éxito. La integración exitosa del STEAM en una institución educativa requiere, ante todo, de una estrategia metódica, colaborativa y rigurosamente aplicada. (NeuroAula, 2019)

Otro punto crítico es el de las rúbricas evaluativas mal dirigidas, que no se adaptan a los nuevos parámetros propiciados por el enfoque STEAM. Ahora bien, la solución a este desafío radica en el avance hacia modelos evaluativos más holísticos que combinan rúbricas multidimensionales con portafolios digitales, capturando aspectos como la creatividad o el trabajo colaborativo que las evaluaciones tradicionales pasaban por alto. Estos nuevos parámetros evaluativos no sólo reflejan una mejor implementación del nuevo modelo educativo, sino que tienen un reflejo positivo en las evaluaciones internacionales, demostrando que estos resultados no se limitan a una burbuja artificial. En el contexto español, donde las evaluaciones internacionales siguen mostrando debilidades en competencia científica, el STEAM ofrece un camino viable para revertir esta situación. Experiencias como las desarrolladas en el País Vasco mediante el programa IkasSTEAM evidencian mejoras notables, con centros que han logrado situarse por encima de la media de la OCDE en las últimas evaluaciones PISA tras cinco años de implantación gradual del modelo.

En definitiva, el modelo STEAM se presenta como un espacio de convergencia entre pedagogía, ciencia, tecnología e innovación social. Las posibilidades que abren herramientas de inteligencia artificial para el diseño creativo de soluciones científicas o el potencial de los laboratorios ciudadanos como espacios de aprendizaje intergeneracional están redefiniendo lo que significa aprender ciencias en el siglo XXI. Estos datos evidencian el potencial del enfoque STEAM para generar aprendizajes significativos, contextualizados y accesibles. Su capacidad para integrar ciencia, arte y tecnología lo convierte en una herramienta clave en la transformación educativa actual.

### 3.4. ABP como metodología activa y su impacto en la enseñanza de Física y Química

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) constituye una de las metodologías activas más relevantes en el panorama educativo actual, particularmente en el ámbito de las ciencias experimentales. Sus fundamentos teóricos se remontan a las propuestas pedagógicas de John Dewey a principios del siglo XX, aunque ha sido en las últimas décadas cuando ha adquirido especial protagonismo en el contexto de la enseñanza por competencias. Esta metodología se caracteriza por situar al estudiante como protagonista activo de su proceso de aprendizaje a través de la resolución de problemas complejos y contextualizados, alejándose así de los modelos tradicionales basados en la mera transmisión de conocimientos.

Desde una perspectiva teórica, el ABP se sustenta en los principios del constructivismo pedagógico, donde el aprendizaje se concibe como un proceso de construcción personal y social del conocimiento. Como señalan (Domènech-Casal et al., 2019), esta metodología favorece aprendizajes más profundos y transferibles al involucrar activamente a los estudiantes en la resolución de situaciones problemáticas significativas.

Los avances en neuroeducación han proporcionado evidencia científica que respalda la eficacia del ABP. Estudios recientes (Tokuhami-Espinosa, 2019) demuestran que esta metodología activa favorece procesos cognitivos esenciales para el aprendizaje científico. En primer lugar, al contextualizar los contenidos en situaciones reales, se activan mecanismos de atención y memoria más efectivos, facilitando la retención a largo plazo. En segundo término, el ABP promueve el desarrollo de funciones ejecutivas fundamentales como la planificación, la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio, habilidades particularmente relevantes en la resolución de problemas científicos. Por último, el componente metacognitivo inherente a esta metodología, donde los estudiantes reflexionan sobre su propio proceso de aprendizaje, contribuye a formar aprendices más autónomos y estratégicos.

En el ámbito específico de la Física y Química, el ABP adquiere especial relevancia al permitir conectar los conceptos teóricos con sus aplicaciones prácticas a través de proyectos experimentales. Estas actividades permiten que los alumnos comprendan fenómenos científicos mediante la experimentación, facilitando la internalización de conceptos complejos de manera intuitiva y práctica.

#### *3.4.1. Definición y características del ABP*

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es definido por (Restrepo Gómez, 2005) como una metodología pedagógica que organiza la enseñanza en torno a problemas o preguntas abiertas que requieren exploración, análisis y solución por parte de los estudiantes. A diferencia de los métodos tradicionales de enseñanza, el ABP impulsa un proceso activo en el que los alumnos investigan, experimentan y aplican sus conocimientos en contextos reales. Este enfoque se basa en preguntas o problemas desafiantes que involucran a los estudiantes en actividades de diseño, resolución de problemas, toma de decisiones o investigación; en fin, les da la oportunidad de aprender de manera efectiva (Panasan & Nuangchalerm, 2010).

Una de las principales características del ABP es su naturaleza interdisciplinaria, pues permite conectar conceptos de distintas áreas del conocimiento en la resolución de un problema central. Además, fomenta el trabajo colaborativo, ya que los estudiantes deben desarrollar habilidades de comunicación y coordinación para alcanzar un objetivo común. Mediante esta metodología activa y colaborativa, no sólo se promueve la adquisición de conocimientos científicos, sino que también desarrolla competencias fundamentales como la comunicación, la creatividad y la autonomía en la resolución de problemas.

Otra característica esencial del ABP es su capacidad para adaptarse a distintos estilos de aprendizaje. Al proporcionar diversas estrategias y herramientas para abordar los problemas planteados, este enfoque permite que cada estudiante aproveche sus fortalezas individuales, lo que lo convierte en un recurso clave para la inclusión. Además, los estudiantes tienen la oportunidad de resolver problemas interdisciplinarios por sí mismos y de responder a ciertas actividades fuera del entorno escolar, lo que les ayuda a



desarrollar autonomía y confianza en su capacidad para enfrentar desafíos. En este sentido, el docente asume el rol de facilitador del conocimiento, orientando y apoyando el proceso de indagación sin imponer una única solución o camino de aprendizaje.

#### *3.4.2. Importancia del ABP en la enseñanza de la ciencia*

Los principales beneficios de aplicar el ABP en la enseñanza de **Física y Química** incluyen:

- **Colaboración:** Los estudiantes trabajan en equipo, intercambiando ideas y construyendo conocimiento de manera conjunta.
- **Resolución de problemas:** Se enfrentan a situaciones reales que los desafían a buscar soluciones innovadoras y fundamentadas científicamente.
- **Creatividad:** Al diseñar experimentos o elaborar modelos, los alumnos aplican el pensamiento creativo para desarrollar soluciones originales.
- **Comprensión profunda:** La necesidad de investigar y aplicar el conocimiento a situaciones concretas favorece una comprensión más sólida y duradera de los conceptos científicos.
- **Autoconfianza y autonomía:** Al ser responsables de su propio aprendizaje, los estudiantes desarrollan mayor seguridad en sus habilidades.

La investigación educativa ha demostrado que, cuando se implementa de forma rigurosa, los ABP pueden generar importantes beneficios en el aprendizaje de las ciencias. Estudios como los de (Moreira, 2017) muestran mejoras significativas en la comprensión conceptual, la capacidad de transferencia de conocimientos a nuevas situaciones y el desarrollo de habilidades científicas como la formulación de hipótesis o el análisis crítico de datos. Además, desde una perspectiva motivacional, el carácter aplicado y colaborativo de esta metodología contribuye a aumentar el interés de los estudiantes por los contenidos científicos, particularmente relevante en etapas educativas como 4º de la ESO, donde comienzan a definirse las preferencias académicas y profesionales.

A pesar de sus múltiples ventajas, la implementación del ABP en la enseñanza de las ciencias no está exenta de desafíos. Como señalan (Martí et al., 2010), entre las principales dificultades se encuentran la gestión del tiempo en contextos curriculares rígidos, la necesidad de adaptarse a diferentes ritmos de aprendizaje dentro de un mismo grupo, y los retos asociados a la evaluación de procesos complejos. Además, en el caso específico de la Física y Química, se suma la dificultad de garantizar que todos los estudiantes adquieran los fundamentos conceptuales necesarios mientras se desarrollan proyectos aplicados.

Para superar estos obstáculos, resulta esencial diseñar cuidadosamente las secuencias didácticas en las programaciones anuales, establecer sistemas de evaluación multidimensional y mantener un equilibrio adecuado entre la exploración autónoma y la consolidación de los conceptos científicos básicos de mano del profesor.

#### *3.4.3. Implementación del ABP en el aula*

La implementación del ABP en el aula de Física y Química requiere una cuidadosa planificación que garantice tanto el logro de los objetivos curriculares como el desarrollo

competencial del alumnado. Según las propuestas de AulaPlaneta y el INTEF (2015), el proceso ABP ha de estructurarse en tres fases fundamentales: Planteamiento, Desarrollo y Conclusión.

Como su nombre indica, la fase inicial de todo ABP debe centrarse en el planteamiento por parte del profesor de una pregunta guía o problema significativo que los alumnos han de resolver. Ahora bien, es fundamental que esta pregunta o problema no sólo esté debidamente referenciado con el currículo educativo pertinente (en nuestro caso, el establecido en el Decreto 39/2022 de Castilla y León), sino que esté relacionado con la realidad de los estudiantes, de modo que despierte su interés y fomente una motivación intrínseca lo suficientemente poderosa para poner en marcha un proyecto inspirado y significativo para ellos. De la misma forma, esta cuestión inicial debe ser lo suficientemente amplia para permitir múltiples aproximaciones por parte del alumnado, pero lo bastante concreta para nunca perder de vista los contenidos curriculares a los que nos hemos de atener.

Una vez definido el problema central, se procede a la formación de los equipos de trabajo. Se recomienda la conformación de grupos heterogéneos de tres o cuatro estudiantes, lo que permite la distribución equitativa de roles y la potenciación de las habilidades individuales en un contexto colaborativo. La diversidad dentro de los equipos facilita la resolución de problemas desde múltiples enfoques y promueve la responsabilidad compartida.

El siguiente paso es la definición del producto o reto final, el cual debe estar alineado con las competencias que se busca desarrollar en los estudiantes, y los intereses propios de cada grupo de trabajo. Este producto puede adoptar diversas formas, como un informe de investigación, una campaña de sensibilización, una presentación audiovisual, una maqueta o cualquier otro formato que favorezca el aprendizaje significativo. Para facilitar la persecución de sus objetivos, los equipos deben elaborar un plan de trabajo, en el que establezcan las tareas específicas, los responsables de cada actividad y el cronograma de ejecución. Esta planificación permite una distribución equitativa de la carga de trabajo y favorece la gestión eficiente del tiempo y los recursos disponibles.

A continuación, los grupos llevan a cabo investigaciones, experimentos y análisis para abordar la problemática planteada. En esta etapa de desarrollo, el rol del docente de Física y Química se convierte en un facilitador del aprendizaje, guiando a los estudiantes en la búsqueda de información fiable, el diseño de experimentos válidos y la interpretación de resultados. También resulta fundamental para el profesor proporcionar andamiajes adecuados que permitan a los estudiantes avanzar sin perder de vista los objetivos de aprendizaje, especialmente cuando trabajan con conceptos científicos abstractos o procedimientos experimentales complejos, que bien se prestan a la confusión.

Para que el ABP pueda concluir de forma satisfactoria, esta última fase debe incluir tanto la presentación de los productos o soluciones desarrolladas al igual que una reflexión profunda y honesta sobre el proceso seguido para llegar a ellas. Las presentaciones se hacen de forma pública, ya sean en formato de ponencia científica, póster académico o informe técnico. Estas permiten evaluar no sólo los aprendizajes adquiridos, sino que también contribuyen a desarrollar competencias comunicativas esenciales en el ámbito científico y técnico. La reflexión metacognitiva, por su parte, ayuda a consolidar los



aprendizajes y a identificar tanto las fortalezas como los aspectos mejorables del proceso, constituyendo así una valiosa herramienta para la autorregulación del aprendizaje, y haciendo del alumnado parte de su propia evaluación, en vez de un receptor pasivo de una nota cuyos parámetros decisivos desconoce.

### 3.5. Marco metodológico sinérgico entre ABP y STEAM

La combinación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con el enfoque STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) representa una poderosa convergencia metodológica para la enseñanza de la Física y Química. Esta integración se sustenta en una coherencia fundamental entre ambos enfoques: mientras el ABP proporciona la estructura pedagógica para el aprendizaje activo, STEAM aporta la perspectiva interdisciplinar necesaria para abordar problemas científicos complejos en contextos reales.

La coherencia entre ABP y STEAM se manifiesta en varios aspectos clave (Tabla 2). En primer lugar, ambos enfoques comparten un carácter esencialmente competencial, orientado a desarrollar habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y creatividad. En segundo término, tanto el ABP como STEAM requieren de un aprendizaje contextualizado. Por último, ambos modelos pedagógicos comparten la importancia de la colaboración y el trabajo en equipo, así como la integración de procesos de diseño e innovación en el aprendizaje de las ciencias. Esta complementariedad hace que la combinación ABP-STEAM resulte especialmente adecuada para la enseñanza de la Física y Química, donde los conceptos abstractos pueden vincularse con aplicaciones tecnológicas y artísticas concretas.

*Tabla 2: Diferencias de definición de STEAM según autores*

Característica/ Dimensión	Enfoque STEAM	Metodología ABP	Sinergia STEAM-ABP
Enfoque Principal	Integración de disciplinas (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes, Matemáticas) para una comprensión holística.	Aprendizaje activo a través de la resolución de problemas y desafíos del mundo real.	Aprendizaje contextualizado y significativo que simula entornos profesionales y prepara para el futuro.
Rol del Estudiante	Explorador interdisciplinario, pensador crítico, creativo.	Protagonista activo, investigador, colaborador, solucionador de problemas.	Constructor de conocimiento, innovador, autónomo, con voz y elección en su aprendizaje.
Rol del Docente	Facilitador, guía, experto en la interconexión de disciplinas.	Guía, orientador, creador de escenarios de aprendizaje, supervisor.	Arquitecto de aprendizaje, equilibrando instrucción explícita con indagación, diferenciando y cultivando mentalidades de crecimiento.

Tipo de Aprendizaje	Interdisciplinario, aplicado, conceptual, creativo.	Experiencial, colaborativo, basado en la indagación, orientado a la producción.	Profundo, duradero, holístico, centrado en el desarrollo de competencias del siglo XXI.
Habilidades Clave	Pensamiento sistémico, razonamiento científico, diseño ingenieril, expresión artística, análisis matemático.	Pensamiento crítico, resolución de problemas, comunicación, trabajo en equipo, habilidades de organización.	Indagación, creatividad, innovación, autonomía, gestión del tiempo, metacognición, resiliencia, inteligencia emocional, perspectiva ética.
Contexto de Aplicación	Amplio rango de temas que requieren una visión integrada del conocimiento.	Desafíos auténticos y relevantes que tienen aplicación más allá del aula.	Proyectos complejos y multidisciplinarios que reflejan la interacción de saberes en la vida real.
Producto Final	Comprensión integrada de conceptos, soluciones innovadoras.	Un producto tangible o una solución al problema planteado.	Un artefacto o solución funcional que demuestra la aplicación integrada de conocimientos y habilidades.

Numerosos proyectos educativos han demostrado el potencial de esta integración metodológica en el ámbito de las ciencias experimentales. Un ejemplo paradigmático es el diseño y lanzamiento de cohetes didácticos, un proyecto STEAM-ABP que combina principios de física (leyes de Newton, aerodinámica), química (reacciones de propulsión), tecnología (diseño de prototipos), ingeniería (optimización de parámetros) y matemáticas (cálculos de trayectoria). Como muestran los estudios de (Bybee, 2015), este tipo de proyectos no solo mejora la comprensión conceptual de los principios científicos implicados, sino que también desarrolla habilidades de diseño técnico y pensamiento computacional.

Otro ámbito donde la integración ABP-STEAM ha demostrado su eficacia es en proyectos relacionados con la energía y la sostenibilidad ambiental. Un caso destacable es el desarrollo de "ciudades sostenibles" a escala reducida, donde los estudiantes aplican conceptos de termodinámica, electroquímica y transformaciones energéticas para diseñar sistemas urbanos eficientes. Estos proyectos suelen incorporar elementos artísticos en el diseño arquitectónico y urbanístico, así como componentes tecnológicos como sensores y sistemas de monitorización. Investigaciones (Fonseca, 2024) revelan que este enfoque holístico favorece una comprensión más profunda de los desafíos energéticos contemporáneos, al tiempo que desarrolla competencias de innovación y emprendimiento.

En el campo de la química aplicada, los proyectos STEAM-ABP han mostrado especial relevancia en temas como la ciencia de materiales o la química ambiental. Un ejemplo innovador es el desarrollo de bioplásticos a partir de materiales naturales, donde los estudiantes exploran las propiedades físico-químicas de diferentes compuestos, diseñan

experimentos para evaluar su degradabilidad, y aplican criterios estéticos en el diseño de productos finales. Este tipo de iniciativas no sólo enseñan contenidos científicos específicos, sino que también fomentan la conciencia ambiental y el pensamiento sistémico (Fonseca, 2024).

La implementación exitosa de proyectos STEAM mediante metodología ABP en Física y Química requiere considerar varios factores clave. En primer lugar, es esencial diseñar secuencias didácticas que equilibren adecuadamente los componentes científicos (Física y Química) con los tecnológicos, artísticos y matemáticos, evitando que estos últimos sean meros complementos decorativos. En segundo término, resulta crucial establecer sistemas de evaluación que valoren tanto los productos finales como los procesos de aprendizaje en todas las dimensiones STEAM. Por último, como advierten algunos autores, estos proyectos deben incluir momentos explícitos de reflexión metacognitiva que ayuden a los estudiantes a reconocer y articular las conexiones entre las diferentes disciplinas (Liao, 2016).

La experiencia acumulada en estos proyectos evidencia que la integración ABP-STEAM en Física y Química puede transformar significativamente la experiencia de aprendizaje. Los estudiantes no solo adquieren conocimientos científicos más profundos y transferibles, sino que también desarrollan una comprensión más matizada del papel de la ciencia en la sociedad y su interrelación con otros ámbitos del conocimiento. Este enfoque, además, ha demostrado ser particularmente efectivo para promover la equidad de género en las disciplinas STEM, al incorporar perspectivas y formas de expresión diversas a través del componente artístico (Fonseca, 2024).

### 3.6. El uso didáctico de cohetes como herramienta interdisciplinar

La construcción y lanzamiento de cohetes como proyecto educativo constituye una herramienta excepcional para la enseñanza científica integrada (fundamental para la asignatura combinada de Física y Química) al adoptar principios fundamentales de ambas disciplinas en un contexto real y motivador. Desde el punto de vista físico, los estudiantes exploran conceptos como las leyes del movimiento de Newton, la aerodinámica, el rozamiento del aire y el cálculo de trayectorias parabólicas, aplicando fórmulas matemáticas para predecir la altura y distancia alcanzadas. En el ámbito químico, el estudio de las reacciones de combustión (en cohetes químicos) o la presión de gases (en cohetes de agua) permite analizar la estequiometría, la energía liberada y los factores que influyen en la eficiencia de la propulsión, el enfoque varía según el tipo de propulsión utilizado.

Además, el carácter experimental del proyecto favorece la adopción del método científico: los estudiantes deben formular hipótesis, diseñar pruebas, recoger datos, evaluar resultados y mejorar sus prototipos en función de la evidencia obtenida. La manipulación de materiales, la resolución de problemas que surgen durante la construcción y la observación directa del vuelo del cohete consolidan el conocimiento de una manera única que es concordante con los principios de la LOMLOE y los beneficios ABP y STEAM antes descritos.

#### 3.6.1. Implementación

Una de las fortalezas más destacables de este recurso es su accesibilidad. Mientras que los cohetes de alta tecnología (con sensores Arduino o impresión 3D) desarrollan

competencias digitales, versiones *low-cost* garantizan no sólo accesibilidad, sino creatividad: los cohetes escolares pueden construirse con materiales reciclables y de bajo coste, como botellas PET, cartón, tubos de PVC, agua a presión o mezclas químicas seguras. Esto permite su implementación incluso en centros con infraestructuras limitadas. Esta adaptabilidad se ajusta a los parámetros de los ODS 4 (educación inclusiva) y ODS 9 (innovación sostenible).

Ahora bien, amén de esta adaptabilidad, los cohetes escolares tienen distintos tipos (Tabla 3):

*Tabla 3: Ejemplos del coste de distintos cohetes*

Tipo de cohete	Materiales	Coste aproximado	Espacio requerido
<b>Hidráulico</b>	Botellas PET, agua, bomba manual	< 5€/unidad	Patio escolar
<b>Químico</b>	Vinagre, bicarbonato, botellas	< 3€/unidad	Aula/Laboratorio
<b>Mecanizado</b>	Sensores Arduino, impresión 3D	20-50€/unidad	Taller tecnológico

Asimismo, su adaptabilidad curricular es notable: en niveles básicos se introducen conceptos elementales de fuerza y presión, mientras que en etapas superiores se pueden abordar cálculos avanzados como el impulso específico, el centro de masas o el diseño con Arduino para automatizar lanzamientos o registrar datos de vuelo.

Este enfoque también puede trasladarse a contextos no formales, como ferias científicas, programas de divulgación o talleres extracurriculares. Proyectos como el “Water Rocket Challenge” de la Universidad de Málaga han demostrado su eficacia incluso en entornos con escasos recursos técnicos. La National Association of Rocketry (NAR) ofrece guías detalladas sobre procedimientos y seguridad que garantizan que la actividad se pueda realizar de forma segura, inclusiva y educativa.

Los programas exitosos de cohetería STEM adoptan consistentemente el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), donde los estudiantes se involucran en problemas auténticos y complejos, como el diseño y lanzamiento de un cohete.

### *3.6.2. Fomento de vocaciones STEM*

A esto se añade el incuestionable beneficio motivacional en el alumnado, aportando un componente aspiracional contextualizado al conectarlo con la exploración espacial e inspirando a la próxima generación de profesionales: el entusiasmo generado por la experiencia de construir y lanzar un cohete puede llevar a una “predisposición en su aprendizaje”, sentando las bases para una exploración continua de las ciencias y la ingeniería.

Si bien las actividades STEM en general fomentan un interés amplio, la cohetería tiene una conexión única y directa con la ingeniería aeroespacial y las “ciencias espaciales”. El evento “Despegue Científico” se vincula explícitamente con la NASA y la Semana del Espacio, reforzando esta conexión. En definitiva, la cohetería no es sólo una actividad STEM genérica, sino una vía directa, altamente visible e inspiradora hacia un campo

STEM específico y de alto perfil. El “boom” y el espectáculo visual de los fuegos artificiales también resaltan la naturaleza cautivadora de la propulsión y la química, fundamentales para la cohetaría. Este atractivo específico, entonces, resulta más potente para la orientación vocacional que otros proyectos STEM más abstractos, aprovechando la fascinación inherente a la humanidad por el espacio para atraer a los estudiantes hacia las STEM.

Este atractivo lúdico tiene beneficios más que considerables al momento de incentivar el desarrollo de un interés en las vocaciones STEM sostenido a lo largo del tiempo; los estudiantes que participaron en programas de cohetaría experimental mostraron un incremento del 20 % en su interés por carreras STEM, en comparación con sus compañeros que no participaron (Baker Street Irregular Astronomers, 2025). De la misma forma, estos proyectos educativos, cuando se implementan de una forma igualitaria e inclusiva, extienden su atractivo hacia grupos históricamente subrepresentados en las áreas STEM. Según estudios de la NASA y otras instituciones, estos programas:

- **Reducen estereotipos de género**

La NASA destaca que la participación de mujeres en misiones espaciales (como las astronautas Jessica Watkins y Christina Koch) y en proyectos de cohetaría educativa (programa *Student Launch*) ayuda a romper la idea de que la ingeniería es un campo exclusivamente masculino. Un estudio de la *American Institute of Aeronautics and Astronautics* (AIAA, 2019) encontró que, en equipos estudiantiles de cohetaría con paridad de género, las mujeres reportaron mayor confianza en sus habilidades técnicas.

- **Generan identificación con roles científicos**

Programas como *Nasa's Artemis Generation* y *Cubes in Space* permiten que los estudiantes, a través del diseño de experimentos de cohetaría, desarrollen una autopercepción como “ingenieros” o “científicos”, que puede incluso llegar a traducirse en la realidad, como es el caso del equipo de estudiantes peruanos de la Universidad Nacional de Ingeniería que participó en el desarrollo de un satélite educativo lanzado en un cohete de la NASA en el año 2023. De la misma forma, ¡el programa “Fly a Rocket!” de la Agencia Espacial Europea consiste en que equipos universitarios diseñan, construyen, prueban y lanzan cohetes sonda con objetivos y protocolos muy similares a los empleados por los profesionales del sector aeroespacial, proporcionando una experiencia práctica invaluable en el ámbito de la ingeniería y la investigación.

- **Vinculan el aprendizaje con aplicaciones reales**

Misiones como DART (desviación de asteroides) o ECOSTRESS (monitoreo climático desde la Estación Espacial) son usadas en aulas para mostrar cómo la ciencia espacial juega un rol clave en la resolución de problemas globales. En el nivel universitario existen proyectos, como los del *Space Grant Consortium*, que permiten a estudiantes lanzar experimentos en cohetes suborbitales, conectando teoría con práctica.

### 3.6.3. *Fundamentación curricular*

Por supuesto, en ningún momento podemos obviar cómo se conecta este proyecto con la legislación vigente. Si bien esta propuesta metodológica puede ser implementada en básicamente cualquier currículo autonómico, en pos de la conveniencia de los propósitos

de este trabajo se ha situado en el contexto legislativo de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, cuyos objetivos de etapa establecidos en el artículo 6 del Decreto 39/2022 son los mismos establecidos en el artículo 23 de la LOMLOE y el artículo 7 del RD 217/2022, a los que agrega otros tres, propios a la Comunidad. Para mayor claridad, se ha decidido consolidar los objetivos en una única lista, citada a continuación:

- a. Asumir responsablemente sus deberes, conocer y ejercer sus derechos en el respeto a las demás personas, practicar la tolerancia, la cooperación y la solidaridad entre las personas y grupos, ejercitarse en el diálogo afianzando los derechos humanos como valores comunes de una sociedad plural y prepararse para el ejercicio de la ciudadanía democrática.
- b. Desarrollar y consolidar hábitos de disciplina, estudio y trabajo individual y en equipo como condición necesaria para una realización eficaz de las tareas del aprendizaje y como medio de desarrollo personal.
- c. Valorar y respetar la diferencia de sexos y la igualdad de derechos y oportunidades entre ellos. Rechazar los estereotipos que supongan discriminación entre hombres y mujeres.
- d. Fortalecer sus capacidades afectivas en todos los ámbitos de la personalidad y en sus relaciones con las demás personas, así como rechazar la violencia, los prejuicios de cualquier tipo, los comportamientos sexistas y resolver pacíficamente los conflictos.
- e. Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos. Desarrollar las competencias tecnológicas básicas y avanzar en una reflexión ética sobre su funcionamiento y utilización.
- f. Concebir el conocimiento científico como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia.
- g. Desarrollar el espíritu emprendedor y la confianza en sí mismo, la participación, el sentido crítico, la iniciativa personal y la capacidad para aprender a aprender, planificar, tomar decisiones y asumir responsabilidades.
- h. Comprender y expresar con corrección, oralmente y por escrito, en la lengua castellana y, si la hubiere, en la lengua cooficial de la comunidad autónoma, textos y mensajes complejos, e iniciarse en el conocimiento, la lectura y el estudio de la literatura.
- i. Comprender y expresarse en una o más lenguas extranjeras de manera apropiada.
- j. Conocer, valorar y respetar los aspectos básicos de la cultura y la historia propias y de las demás personas, así como el patrimonio artístico y cultural.
- k. Conocer y aceptar el funcionamiento del propio cuerpo y el de los otros, respetar las diferencias, afianzar los hábitos de cuidado y salud corporales e incorporar la educación física y la práctica del deporte para favorecer el desarrollo personal y social. Conocer y valorar la dimensión humana de la sexualidad en toda su

diversidad. Valorar críticamente los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado, la empatía y el respeto hacia los seres vivos, especialmente los animales, y el medio ambiente, contribuyendo a su conservación y mejora.

- l. Apreciar la creación artística y comprender el lenguaje de las distintas manifestaciones artísticas, utilizando diversos medios de expresión y representación.
- m. Conocer, analizar y valorar los aspectos de la cultura, tradiciones y valores de la sociedad de Castilla y León.
- n. Reconocer el patrimonio natural de la Comunidad de Castilla y León como fuente de riqueza y oportunidad de desarrollo para el medio rural, protegiéndolo, y apreciando su valor y diversidad.
- o. Reconocer y valorar el desarrollo de la cultura científica en la Comunidad de Castilla y León indagando sobre los avances en matemáticas, ciencia, ingeniería y tecnología y su valor en la transformación y mejora de su sociedad, de manera que fomente la iniciativa en investigaciones, responsabilidad, cuidado y respeto por el entorno.

Ahora bien, como los objetivos de etapa hacen referencia a la etapa de la ESO en su totalidad, es imposible que una única actividad, limitada a una única asignatura, se cumplan todos, pero no por eso no tiene impacto en ellas.

Tabla 4: Grado de contribución al logro de los objetivos de etapa, donde +++ significa mayor incidencia y + menor.

Objetivo de etapa							Grado de contribución al logro de los objetivos							
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++	+	+	+	++	+	+	+++

A, B, C, D y G son inherentes al trabajo en equipo igualitario e inclusivo, que es la piedra angular del proyecto y de su desarrollo emocional para con las ciencias y su participación activa en ella. De la misma forma, E y F son claves en el desarrollo de cualquier asignatura del ámbito científico. Si bien parece muy ajeno a la asignatura, el objetivo L es clave también por cuánto es un proyecto STEAM, no STEM; es decir, involucra activamente un apartado artístico y estético. Finalmente, el apartado O viene a ser la manifestación del compromiso social que buscamos generar.

Por el contrario, los objetivos H, I, J y K tienen menor relevancia, aunque no por eso quedan al margen, puesto a que los alumnos en todo momento han de ser capaces de transmitir por voz y escrito sus avances, al igual que entender la lectura de los postulados científicos que sustentan el funcionamiento de su proyecto.

Avancemos, ahora, a cómo se fundamenta este proyecto para con el desarrollo de las competencias clave (Tabla 5):

Tabla 5: Atribución a competencias clave donde +++ significa mayor incidencia y + menor.

Competencia Clave	CCL	CP	STEM	CD	CPSAA	CC	CE	CCEC
Grado de contribución al desarrollo competencial	++	+	+++	++	+++	+	+++	++

Las dos competencias más beneficiadas son las STEM, CPSAA y CE, por cuánto estamos hablando de un proyecto (CE) grupal y colaborativo con un componente de aprendizaje motivante (CPSAA) del área de Física y Química (STEM). Por el otro lado, competencias como CCL, CD o CCEC se desarrollan de manera paralela al proyecto a través de las manifestaciones formalistas del mismo: escritos, investigaciones digitales, y diseños que responden a sensibilidades estéticas y artísticas. Finalmente, CP y CC quedan fuera de nuestro horizonte, algo desafortunado pero inevitable dada la casi nula convergencia entre éstas y las asignaturas científicas.



## 4. Diseño de la propuesta

Como se adelantó en los objetivos, el propósito central de este trabajo no es solo ofrecer una propuesta didáctica concreta, sino diseñar un marco metodológico integral que sirva como referencia para educadores interesados en el desarrollo e implementación de proyectos educativos basados en cohetes, utilizando la combinación del enfoque STEAM y la metodología ABP.

¿A qué nos referimos por “marco metodológico integral”? Un marco metodológico, por definición, es la explicación de los mecanismos utilizados para el análisis de una problemática de investigación, describiendo con claridad cómo se realizó el análisis, qué métodos, técnicas o procedimientos se aplicaron, y, por encima de todo, por qué y cómo. Por lo tanto, este marco conceptual no se limitará a presentar una secuencia de pasos, sino que justificará las decisiones pedagógicas y didácticas subyacentes, proporcionando una visión clara de la lógica y la intencionalidad detrás de cada fase. Se busca crear, pues, un modelo exportable altamente adaptable que los docentes puedan incorporar a sus planificaciones anuales (CEV, n.d.).

La construcción de este marco metodológico se fundamenta en la integración de principios de diseño instruccional probados, como son el modelo ADDIE (“Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación, Evaluación”) y el enfoque de Comprensión por el Diseño (UbD, *Understanding by Design*). La combinación de la definición de un marco metodológico integral — que siempre tiene en consideración el *cómo* y el *porqué* de las acciones pedagógicas — con modelos de diseño instruccional como (ADDIE y UbD, n.d.) — que comienzan con los resultados de aprendizaje deseados y estructuran el desarrollo del curso en fases lógicas — asegura que el marco propuesto sea no solo una guía práctica, sino también un documento académicamente riguroso y coherente. Esta integración proporciona una base sólida para los educadores, garantizando que la metodología sea tanto efectiva en la práctica como respaldada por principios educativos reconocidos.

### 4.1. Estructura de la propuesta

El marco conceptual se estructurará en fases secuenciales y claras que irán desde la conceptualización inicial hasta la evaluación final, permitiendo una implementación sistemática con vistas a una mejora continua del proyecto.

Para general este proyecto STEAM seguiremos el orden propuesto por *Steamgunea*, ilustrado magistralmente en la siguiente imagen (Ilustración 2).



Ilustración 2. Pasos para elaborar un plan STEAM según la página web <https://steamgune.euskadi.eus/es/como-hacer-un-plan-steam>

Se nos perfilan, entonces, una serie de preguntas clave cuya respuesta nos orientará al momento de diseñar nuestro proyecto, elaboradas a continuación mediante un método socrático para favorecer la comprensión. A estas, añadiremos un par de preguntas que hemos considerado pertinente incluir.

## 4.2. Diagnóstico

### 4.2.1. ¿Por qué proponemos este recurso?

El diagnóstico constituye la fase inicial de cualquier marco metodológico educativo riguroso. Lejos de tratarse de un mero trámite inicial, esta etapa tiene la función de anclar todo el proyecto en un análisis contextualizado, reflexivo y fundamentado. Antes de seleccionar actividades, contenidos o recursos, es necesario preguntarse: ¿qué está ocurriendo en nuestros entornos escolares?

Si bien ya hemos demostrado que los fundamentos de nuestra propuesta son proyectos sumamente útiles desde un punto de vista amplio, debemos comenzar por ofrecer una herramienta crítica que permita a los docentes evaluar si esta propuesta es pertinente, viable y transformadora para con su contexto escolar específico.

#### 4.2.2. ¿Cómo lo llevaremos a cabo?

Esta fase inicial, pues, se centra en comprender el Contexto Educativo Propio y definir los cimientos del proyecto: a saber, por qué se debería llevar a cabo un proyecto de estas características en un centro concreto. Para comprender este contexto, debemos analizar el entorno de aprendizaje, incluyendo los recursos disponibles (materiales, tecnología, espacios) y las necesidades, intereses y conocimientos previos de los estudiantes.

Ahora bien, ¿a qué nos referimos con Contexto Educativo Propio (CEP)? Este concepto integra elementos como las políticas educativas vigentes, las tecnologías aplicadas a la enseñanza, las realidades socioeconómicas de los estudiantes, los principios de inclusión y equidad, las transformaciones pedagógicas y cualquier dinámica escolar que pueda surgir en el tiempo.

Evaluar el CEP, entonces, implica analizar cómo los distintos actores del sistema (estudiantes, docentes, directivos) perciben, interpretan y se relacionan con la realidad en la que desarrollan sus actividades. Este proceso debe abordarse de manera multidimensional y mediante herramientas diversas, siguiendo un enfoque estructurado y aplicado rigurosamente para evitar obviar trabas u obstáculos que posteriormente puedan resultar insalvables.

Deben establecerse, pues, indicadores claros que permitan medir dicha comprensión. Ejemplos de estos incluyen:

- La capacidad para vincular el contexto con la práctica pedagógica cotidiana.
- El conocimiento aplicado de normativas actuales.
- El reconocimiento de problemáticas socioculturales que inciden en el aprendizaje.
- El desarrollo de una mirada crítica frente a las transformaciones del sistema educativo.

Para recabar información, los centros suelen seleccionar instrumentos de evaluación preexistentes. Ejemplos de estos son:

- Cuestionarios o encuestas con preguntas tanto abiertas como cerradas que exploren percepciones y conocimientos.
- Entrevistas o grupos focales que faciliten un análisis profundo con diversos actores.
- Estudios de caso para examinar respuestas ante situaciones reales.
- Portafolios reflexivos que documenten la influencia del contexto en la toma de decisiones.
- Observación participativa que registra adaptaciones concretas en el entorno educativo.

En principio, estas herramientas ya están implementadas en los centros educativos, puesto a que gran parte de su trabajo consiste en el análisis y diagnóstico de estos factores mediante mecanismos que ya hemos incluso citado al momento de establecer nuestro marco teórico, como son las evaluaciones internacionales.

Con todos estos indicadores a mano, debemos realizar una primera reflexión o investigación en torno a la realidad, de forma que identifiquemos en profundidad la situación que deseamos cambiar, cómo podemos hacerlo, y con qué recursos disponemos. Esta reflexión se lleva a cabo no sólo para encontrar nuestro punto de partida, sino para perfilar el camino que vamos a seguir de forma que no nos encontremos con trabas insalvables más adelante.

#### *4.2.3. ¿Qué situación tenemos?*

Como vimos en el apartado teórico, no sería arriesgado afirmar que una virtual totalidad de los centros educativos españoles presentan hoy en día una serie de fenómenos interrelacionados que justifican la búsqueda de enfoques pedagógicos alternativos. Hagamos un breve repaso:

- Desmotivación y desvinculación emocional; la falta de estímulos creativos y emocionales en el aula genera apatía y desafección escolar.
- Las metodologías tradicionales, centradas en la transmisión memorística superficial de contenidos intelectualmente estériles y desvinculados de los contextos reales del alumnado, no logran captar el interés e involucramiento emocional de los estudiantes.
- Descenso del interés por los itinerarios científicos y tecnológicos en la educación secundaria en vista de su inaccesibilidad conceptual.
- Incremento del absentismo escolar y del riesgo de abandono temprano como consecuencia de la desafección escolar.
- Falta de flexibilidad curricular, de forma que tanto los estudiantes con altas capacidades como los estudiantes de bajo rendimiento por igual queden al margen de la estructura curricular tradicional, con la consiguiente repercusión en su moral.
- Nula integración de la dimensión emocional y creativa en el aprendizaje científico.

#### *4.2.4. ¿Cómo podemos valorar esta situación?*

Para que el (equipo) docente evalúe si las circunstancias de su CEP ameritan nuestra intervención propuesta, proponemos el uso de la rúbrica ubicada en el anexo 7.2.

El análisis de los datos obtenidos debe realizarse desde un enfoque crítico y contextualizado. Esto implica que no basta verificar una familiaridad con los hechos, sino que es necesario evaluar si existe una comprensión profunda por parte del docente que motiven acciones coherentes, considerando siempre los factores socioeconómicos, culturales y tecnológicos que modelan dicha realidad, pues un proyecto mal enfocado sólo puede ser mal aplicado.

#### *4.2.5. ¿Es este proyecto el adecuado para nuestros objetivos educativos?*

Si bien se entiende que este recurso es útil en gran cantidad de situaciones educativas, esta afirmación no la podemos hacer nosotros pues desconocemos las particularidades del CEP del docente que decida implementar este proyecto. Sin embargo, sí podemos entregar consideraciones orientativas para que el docente pueda llegar a esta conclusión por sí sólo.

En primera instancia, tenemos que alinear este proyecto con relación a los siguientes ejes, todos los que ya han sido desarrollados en gran profundidad en el marco teórico por lo que no nos extenderemos acá sobre ellos.

- **Recursos disponibles:** ¿Tenemos acceso a instalaciones adecuadas, materiales reciclables, kits químicos básicos, impresoras 3D, espacios abiertos del centro o laboratorios?
- **Interés del Alumnado:** ¿se corresponde con los ejes temáticos presentados por el espacio, la tecnología, el diseño, la programación o, simple y llanamente, las explosiones vistosas?
- **Competencias curriculares:** Los contenidos clave que abordamos mediante este proyecto, ¿no pueden acaso ser abordados a través de una metodología más sencilla, barata y ortodoxa?

Para hacer esta valoración, proponemos la rúbrica que se recoge en el anexo 7.3.

### 4.3. Objetivos

#### 4.3.1. ¿Para qué proponemos este recurso?

En el apartado anterior hemos establecido si el proyecto se corresponde con el CEP preexistente. Dicho de otra forma, hemos identificado, entonces, el *quid* de la cuestión; que podremos encontrar en anexos 7.2, para identificar *cuál* es nuestro objetivo.

Ahora bien, en los enfoques metodológicos tan amplios como puede ser el STEAM se subentiende que por necesidad deben ser aplicados de forma holística para poder sacarle el mayor provecho a su propuesta, pero en la realidad una única solución o paradigma, aplicada indiscriminadamente, defrauda nuestras expectativas con resultados decepcionantes, cuando no nulos. Esto es porque no ha sido aplicado de una forma definida, clara y dirigida. Por lo tanto, para poder llegar a buen puerto, es necesario que el profesor tenga claro cuál es el tema o problema que quiere tratar, y una vez conocido, tendrá que cuestionarse críticamente el *por qué* detrás de este para poder así identificar cómo solventarlo. Ya hemos hecho lo primero en nuestro diagnóstico. Es hora de identificar nuestros objetivos.

#### 4.3.2. ¿Qué queremos conseguir?

En primera instancia, la respuesta ha de ser obvia: promover un aprendizaje significativo y duradero en el alumnado, enganchando su atención, interés y motivación en pos del aprendizaje como un bien en sí mismo, y respetando en todo momento la inteligencia y el tiempo del alumnado de modo que el proyecto no se desvirtúe en un ejercicio vano e intelectualmente estéril.

#### 4.3.3. ¿Cómo lo conseguiremos?

Al responder a la pregunta de cómo, nos referimos por necesidad a los objetivos del proceso y los productos que nos darán los estudiantes al finalizar el proyecto. Debemos acá, empero, hacer una distinción clave entre ambos:

- **Producto:** resultado tangible (ej: prototipo funcional)

- **Proceso:** aprendizaje a través de la práctica (ej: documentación de 3 iteraciones de mejora)

Procede, entonces, fijar objetivos generales y específicos en función del diagnóstico, y sistematizar su consecución. Estos han de ser claros, concretos, y debidamente acotados de forma que sean realísticamente asequibles por los alumnos y evaluables por el docente. De la misma forma, deben ser lo suficientemente flexibles para poder adaptarse en caso de que el grupo estudiantil proponga un camino alternativo válido, siempre y cuando se cumplan los mismos criterios de aprendizaje.

Para poder sistematizar los objetivos, por supuesto, hay que tener en cuenta los resultados deseados: en este sentido, las Competencias Específicas de 4º FyQ establecidos por el currículo autonómico (Decreto 39/2022, CyL) son no sólo extraordinariamente ilustrativas en su explicitud, sino objetivos cuya consecución es un requisito normativo ineludible, por lo que atenernos a ellas es lo más pertinente se mire por donde se mire. En nuestro proyecto, se perfilan las siguientes correspondencias con estas competencias específicas.

*Tabla 6: Convergencia con las competencias específicas del currículum de 4º ESO en CyL con del proyecto propuesto*

CE1			CE2			CE3			CE4		CE5		CE6	
1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	5.1	5.2	6.1	6.2
++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+++	++	+	+

En definitiva, el proyecto viene como un guante a la medida de los objetivos curriculares del curso. La única Competencia Específica que queda más al margen sería la sexta, pero puede fácilmente ser subsanada mediante otras situaciones de aprendizaje derivadas de la propuesta.

*¿Cómo evaluar si los objetivos son realistas y viables?*

Existen varios modelos para evaluar objetivos. Entre otros dignos de mencionar están el método PURE (*Positive, Understandable, Relevant, Ethical*, de los que se subentiende que los objetivos están 1) formulados en términos de logro, no de evitación; 2) comprensibles para todos los involucrados; 3) con impacto real en el aprendizaje; 4) éticos y alineados con valores educativos.) o el método CLEAR (*Challenging, Legal, Emotional, Approachable, Refined*: 1) desafiantes pero motivadores; 2) cumplen normas institucionales; 3) inspiran compromiso emocional; 4) pueden subdividirse en submetas; 5) permiten ajustes durante el proceso. Para los propósitos de este trabajo, hemos optado por el método conocido como SMART.

El método SMART es definido por (Steffens & Cadiat, 2016) como un marco de trabajo que se utiliza para definir objetivos claros, estructurados y efectivos. Su premisa central es que un objetivo bien formulado debe cumplir con cinco criterios específicos, que se corresponden con el acrónimo que le da el nombre: *e*Specíficos, *M*edibles, *A*lcanzables, *R*elevantes y *T*emporales.





Ilustración 3: Infografía sobre los pasos del método SMART obtenida de la web <https://tecnosuiza.com/objetivos-smart/>

La metodología SMART fue acuñada en 1981 por George T. Doran, consultor y exdirector de planeamiento corporativo de la empresa Washington Water Power Company en un artículo titulado “*There’s a S.M.A.R.T way to write management’s goals and objectives*”. Aunque se originó en el ámbito de la gestión empresarial y administrativa, su flexibilidad y aplicabilidad hizo que fuera rápidamente extrapolado y adaptado a otros campos como los proyectos personales, la salud, el desarrollo profesional y, por supuesto, la educación.

En nuestro contexto, la metodología SMART nos ayuda especialmente al momento de acotar nuestros objetivos. Por ejemplo:

**Propuesta inicial:** que los estudiantes desarrollen habilidades STEAM.

**SMART:** Durante un período de cuatro semanas, los estudiantes aplicarán conocimientos del área STEAM para diseñar un prototipo funcional en equipos de 4, utilizando herramientas digitales y materiales reciclados.

Esto se vería visualizado en una tabla de la siguiente forma:

Tabla 7: Rúbrica para aplicar el método SMART en este tipo de proyecto.

Criterio	Pregunta clave	Ejemplo: Cohete químico (Vinagre + bicarbonato)
<b>S</b>	¿Qué sistema debe simular el prototipo? ¿Qué funciones tendrá?	Crear un cohete con tubo de PVC que impulse usando una reacción química
<b>M</b>	¿Cómo se verificará el funcionamiento?	El cohete debe expulsar el tapón al mezclar los reactivos y elevarse a una altura de al menos 2 metros.
<b>A</b>	¿Los recursos y tiempos disponibles son realistas?	Materiales: Tubo PVC (30 cm), tapón de corcho, vinagre, bicarbonato. Tiempo: 3 sesiones.
<b>R</b>	¿Vincula con problemas reales y relevantes?	Demuestra reacciones ácido-base (química) y fuerza de acción-reacción (física)
<b>T</b>	¿Cuáles son los hitos clave?	Día 1: Armado Día 2: Pruebas de reacción Día 3: Lanzamiento final

#### 4.4. Actuación

##### 4.4.1. ¿Qué vamos a hacer para conseguirlo?

En vista de la existencia de una gran variedad de recursos de libre acceso respecto a ello, no nos vamos a extender en este apartado sobre *cómo* se hacen los cohetes; antes bien, nuestra prioridad es abordar *cómo* haremos *el proyecto* en su totalidad para ello nos podemos ayudar de la rúbrica del anexo 7.4 . Dicho esto, en primera instancia, es imperativo saber con qué tipo de cohete queremos trabajar, puesto a que las características específicas de cada uno tienen una incidencia directa e inmediata sobre los fundamentos físico-químicos que queremos enseñar.

##### 4.4.2. ¿Qué tipos de cohetes existen?

No existe una clasificación estandarizada de los tipos de cohetes escolares que pueden ser utilizados en la asignatura de Física y Química. Por lo tanto, haremos una enumeración de los distintos tipos de cohetes que se pueden hacer, y los contenidos de estudio que cada uno de estos ofrece. En los anexos 7.1 se dirá en mayor detalle respecto a las características específicas de cada uno de estos.

##### Cohete de agua o de propulsión neumática

Este para su construcción puede requerir materiales baratos y comunes, así que son muy costo-efectivos, y su facilidad de montaje permite que incluso estudiantes sin ninguna experiencia puedan elaborarlos con herramientas básicas, lo que fomenta el aprendizaje práctico. Otra ventaja es que son reutilizables: tras cada lanzamiento, pueden recuperarse, rearmarse y volver a usarse, optimizando recursos. Por último, ofrecen una amplia



variabilidad experimental, ya que permiten ajustar parámetros como la presión, el volumen de agua o el diseño aerodinámico, facilitando la exploración científica y la iteración en proyectos educativos. Debido a esto, los cohetes de agua son los más comunes en las esferas docentes (Diego Vega Bermejo & César Chamorro Camazón Roberto Reinoso Tapia, 2021)

#### Cohetes con reacción química ácido-base

Su simplicidad lo convierte en una herramienta valiosa para introducir principios de química que no son posibles con los cohetes de agua. Y aunque su empuje es menor que el de los cohetes de agua (ya que su eficiencia es limitada debido a que el  $\text{CO}_2$  no se expande con tanta fuerza como el aire comprimido) este sistema tiene algunas ventajas comparativas, como:

- Seguridad mejorada: la reacción no es explosiva ni genera llamas, reduciendo riesgos en comparación con propelentes combustibles.
- Materiales cotidianos: los reactivos son fáciles de conseguir (vinagre, bicarbonato, limón) y no requieren equipos especializados.
- Didáctica química: permite observar en tiempo real conceptos como estequiometría, generación de gases y presión.

A nivel de recursos disponibles para su diseño, apuntamos a los artículos de (Claycomb et al., n.d.) o los experimentos propuestos por el Kohl Children's Museum. Empero, lo óptimo sería buscar un modelo al gusto del propio docente, pues garantiza su mejor implementación.

#### Cohetes de propulsión química sólida

Estos cohetes tienen la ventaja comparativa de representar un puente entre los experimentos caseros y la cohetaría profesional, ofreciendo una experiencia más realista. Su funcionamiento se basa en la combustión progresiva de un propelente sólido, que al quemarse libera gases a alta presión a través de una tobera, impulsando el cohete según los principios de la aerodinámica y la termodinámica. Sin embargo, por esto mismo, no están exentos de riesgos: aunque son más seguros que los sistemas improvisados, requieren supervisión adulta responsable, medidas de seguridad rigurosas, y el uso de áreas abiertas. Además, en muchos países (incluyendo España), los motores clasificados arriba de cierta potencia, como los clase D +, exigen permisos especiales. Por estas razones, si bien estos cohetes ofrecen gran atractivo visual y pedagógico, no suelen ser utilizados en ámbitos didácticos con ciertas excepciones (Tucker & Nowlinf, 2001).

#### Cohetes híbridos

A diferencia de los motores sólidos o líquidos puros, al separar el combustible del oxidante, se reduce el riesgo de explosiones accidentales, y la tasa de empuje puede ajustarse variando el flujo del oxidante, pero no por esto dejan de presentar un riesgo considerable debido a su complejidad mecánica, con sistemas de inyección, válvulas y tanques presurizados. Por lo tanto, su uso estaría más indicado en aulas cuyos alumnos posean la madurez y responsabilidad suficiente para tomarle el debido peso a los riesgos

a los que se exponen; es decir, grupos universitarios, equipos de competencias estudiantiles (como el Spaceport America Cup) o laboratorios supervisados.

Para realizarlos existen procedimientos ya testados como el de Ishihara et al, 2016.

#### Cohetes de pólvora negra

Los cohetes de pólvora negra son sistemas de propulsión basados en la combustión de este compuesto químico, una mezcla de nitrato de potasio, carbón vegetal y azufre. Fueron los primeros cohetes utilizados con fines ceremoniales y bélicos en la antigua China y más tarde adoptados por los ejércitos europeos en el tardío siglo XIV y XV. Hoy en día, su uso se limita principalmente a demostraciones históricas, recreaciones o experimentos controlados debido a su peligrosidad y regulaciones legales.

Realmente, la única ventaja comparativa que presentan estos cohetes es la conexión con las competencias claves de ámbitos histórico-culturales, puesto a que en general la pólvora negra presenta riesgos significativos, como explosiones prematuras, desviaciones descontroladas, y poca precisión balística. En este sentido, quizás sea preferible un vídeo demostrativo.

#### Cohetes de vapor

Con mucho, los cohetes de vapor son preferibles a los cohetes de pólvora negra al momento de conectar con las competencias claves históricas, puesto a que son el fundamento impulsor de la revolución industrial, a la vez que son muchísimo más seguros, pues no requieren químicos peligrosos ni compresores. Además, ilustran principios termodinámicos como la transformación de calor en trabajo mecánico y la ley de los gases ideales.

Su uso educativo no es particularmente habitual en occidente, con los únicos artículos científicos que hemos encontrado sobre su uso estando en japonés(..., n.d.). Gracias a las facilidades traductivas del siglo XXI, estos artículos no nos son inaccesibles, pero pueden no ser lo más adecuado para un proyecto de estas características. Alternativas más casuales y lúdicas se pueden encontrar en el youtube angloparlante(*Hot Water Rocket / Steam Rocket - World Record Attempt - YouTube*, n.d.).

Cabe recordar que, aunque son más seguros por la simpleza de sus combustibles, siguen siendo más peligrosos que otros ya comentados puesto a que el líquido hervido vertido puede causar quemaduras severas si no es debidamente utilizado.

#### Cohetes eléctricos o de plasma

Aunque es un ejemplo curioso, no se alinea lo suficiente con los conocimientos esperados de un alumno de ESO, siendo, por el contrario, algo más propio de cursos superiores. Se ha nombrado en pos del rigor informativo.

### Cohetes mecánicos

La mayoría de los modelos mecánicos son altamente reutilizables, ideales para prácticas repetidas y demostraciones controladas que permiten acercar los contenidos físicos a alumnos con dificultades matemáticas. Son ideales para entornos educativos o demostraciones donde se busca evitar el uso de reactivos peligrosos o fuentes de calor, por lo que se encuentran entre los más seguros.

Existe una infinidad de subcategorías, que a continuación enumeraremos brevemente:

1. Cohetes neumáticos (Aire comprimido sin agua)
2. Cohetes de contrapeso o catapulta
3. Cohetes de Volante de Inercia (energía cinética almacenada)

Por supuesto, existen muchos más tipos de cohetes que se pueden llevar a cabo, pero con la revisión hasta aquí efectuada será suficiente para contextualizarnos en la amplia gama de posibilidades y alternativas que tendremos a nuestra disposición al momento de elaborar nuestra propuesta.

#### *4.4.3. ¿Qué recursos necesitaremos?*

Todo proyecto requiere una cuidadosa organización y sistematización de los recursos necesarios para su ejecución satisfactoria. En esta instancia, abordaremos los recursos humanos y tecnológicos, puesto a que, como hemos indicado en el apartado de los cohetes, los recursos materiales pueden variar mucho dependiendo del modelo escogido.

### Recursos Humanos

Un ABP requiere de una coordinación eficaz entre los distintos agentes del centro educativo, comenzando por el profesorado implicado. Puesto a que este proyecto está orientado y desarrollado desde el área de Física y Química, será este docente el principal responsable del diseño y desarrollo del proyecto, que se llevará a cabo mayoritariamente en el contexto de sus clases. Este profesor no sólo organizará las distintas fases del proyecto, sino que también ejercerá la labor de acompañamiento y orientación pedagógica.

Debido a la interdisciplinariedad inherente al modelo STEAM, esto involucra a profesores pertenecientes a distintos departamentos. En este sentido, el profesor de matemáticas, que proporcionará apoyo en la realización de los cálculos necesarios para el diseño y análisis de los proyectos. Si el alumnado desea incorporar elementos electrónicos o automatizados, será necesaria también la participación del profesor de tecnología, que podrá guiar el diseño e integración de dichos componentes. Asimismo, el profesor responsable del laboratorio contribuirá en la fase de construcción y testeo de los modelos, asegurando que los procesos se lleven a cabo de manera segura y eficaz.

Un pilar esencial de este proyecto lo constituye el propio alumnado. Dado que se adopta una metodología activa, son los estudiantes quienes lideran gran parte del proceso: desde la conceptualización de sus ideas hasta la ejecución práctica de las mismas. Su implicación activa, capacidad de organización y trabajo colaborativo son, por tanto, recursos humanos fundamentales para el éxito de la propuesta, y el propósito subyacente a la misma.

## Recursos Tecnológicos

Aunque el resultado final del proyecto sea un producto tangible (a saber, una maqueta funcional), se contempla el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para apoyar la investigación, el diseño y la presentación del trabajo. Según el modelo TPACK (Ayala et al., 2000), una integración efectiva de las TIC en el aula debe combinar de forma equilibrada el conocimiento pedagógico, tecnológico y disciplinar. En este proyecto, los estudiantes pueden remitirse a blogs, vídeos científicos o experiencias previas compartidas en internet para inspirarse, verificar cálculos, consultar principios físicos y buscar soluciones técnicas.

Desde el punto de vista tecnológico, este proyecto tiene la ventaja de ser bastante flexible al momento de la implementación de los TIC; a saber, que, si bien son deseables, no son indispensables, pues se puede llevar a cabo una implementación sencilla que no requiere de herramientas digitales complejas. Para los cohetes más sencillos, el uso de plataformas virtuales, aplicaciones específicas o de laboratorios digitales es del todo innecesario. En general, la dimensión TIC se centrará en la búsqueda de información complementaria.

Si bien el informe final se preferirá en formato digital, la elaboración de los entregables escritos que el alumnado irá completando a lo largo del desarrollo del proyecto será en formato manual, de cara a evitar el plagio o la regurgitación acrítica de información falsa. Para orientación docente, indicamos a continuación cómo abordar y problematizar el uso de algunas de las plataformas digitales más comunes:

- **Wikipedia o blogs:** Estos recursos se cuentan entre los más útiles, pero hay que fomentar que los alumnos se pregunten por qué creen que son correctas, si es una fuente segura o si hay mejores alternativas, qué credenciales o métodos de verificación tienen, etc. Todo esto ayuda al alumnado a desarrollar un análisis de la información.
- **Youtube o TikTok:** Este recurso ofrece innumerables alternativas de vídeos tutoriales y ejemplos de cohetes que los alumnos pueden tomar por inspiración. Sin embargo, el formato breve de los mismos puede usarse para fomentar al alumnado a buscar alternativas complementarias, enseñándoles la importancia de una investigación más profunda.
- **IAs como ChatGPT, Gemini o DeepSeek:** Este recurso ofrece un mecanismo de consulta, generación de ideas o resolución de dudas conceptuales y teóricas. Pese a sus innumerables desventajas, sería irresponsable de nuestra parte como docentes pasarla por alto debido a su popularidad en las generaciones más jóvenes, que han llegado incluso a reemplazar una búsqueda cursoria en Google por una pregunta en IA. Por lo tanto, ya que el docente no puede prohibir su uso, se hace crucial que sí enfatice sus debilidades: las inteligencias generativas, puesto a que son modelos lingüísticos y no cognitivos, tienden a inventar datos y citas falsas, al igual que cometer errores que pueden acarrear severas consecuencias para la salud y seguridad del alumnado en un proyecto de esta índole. Subrayar estos riesgos y sus consecuencias reales puede disuadir la sobre-dependencia que tienen los alumnos a estas herramientas.

- **Google Drive, Microsoft Teams, Canva, etc:** Estas herramientas ayudan a la coordinación de los alumnos a la distancia, creando repositorios documentales digitales en los que puedan dejar sus avances a la disposición de todos los integrantes grupales, al igual que permitir el avance en casa de manera telemática.

#### 4.4.4. *¿Qué pasos seguiremos para llevar a cabo nuestro proyecto?*

Una vez escogidos los objetivos educativos contextuales, toca escoger los objetivos didácticos curriculares y desarrollar la metodología ABP que seguirá nuestro proyecto docente. En pos de la brevedad, hemos optado explicar los pasos a seguir a través de su ejemplificación.

### 4.5. Implementación

El proceso de implementación tiene dos dimensiones que es imperativo abordar por separado: la primera, que debe hacerse por anticipado y estar finalizada mucho antes incluso de entrar en el aula, corresponde al diseño del marco de trabajo elaborado por el profesor. El segundo es el desarrollo de este marco en el aula de mano del alumnado.

#### 4.5.1. *Formulación de una pregunta esencial*

Para poder comenzar, entonces, tendremos que seleccionar el tema y el planteamiento de la pregunta guía para nuestros alumnos. Este **no** es la misma problemática temática que abordamos previamente, en cuanto aquél refería al contexto educativo en sentido general; en esta instancia se trata de un tema concreto adecuado al contenido curricular, abordado mediante una pregunta guía abierta, pertinente y motivadora, cuya resolución permita la consecución de los objetivos competenciales del curso.

En pos de la inclusión de la mayor cantidad de contenido posible para una mayor integración holística de la materia, el tema contextualizado que elaboraremos en esta ejemplificación es “**propulsión a reacción y reacciones químicas en cohetes**”.

Posteriormente, se formula una pregunta guía abierta, diseñada para activar los conocimientos previos de los estudiantes y orientarlos en la identificación de los aspectos que requieren investigar. Siguiendo el tema propuesto, una pregunta ejemplar podría ser “**¿Cómo podemos diseñar un cohete que maximice la altura/estabilidad usando principios físico-químicos y materiales accesibles?**”. Para hacer más digerible esta pregunta, la podemos relacionar con las posibles aplicaciones reales de la misma. Por ejemplo, podemos presentar un caso hipotético en el que Elon Musk ha usado su plataforma X para atacar y denostar al proyecto Miura, acusándole de ser “woke” por preferir combustibles ecológicos, ante lo cual el presidente español ha propuesto una beca a quien logre diseñar un cohete que alcance los principios de nuestra pregunta ejemplar. Por supuesto, esto no ha ocurrido en la realidad (aún), pero puede servir para enganchar a los alumnos con el proyecto.

##### 4.5.2.1. *Objetivos didácticos del proyecto*

A partir de este tema y pregunta guía, se perfilan los siguientes objetivos didácticos:

- Comprender y aplicar los principios fundamentales de la dinámica y su relación con el movimiento de los cohetes.

- Analizar los efectos de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento, incluyendo fuerza de empuje, gravedad y resistencia del aire, mediante la experimentación con cohetes caseros.
- Diseñar, construir y optimizar un prototipo de cohete utilizando materiales accesibles, integrando conocimientos de física, tecnología y matemáticas.
- Interpretar gráficas y datos obtenidos del experimento (altura alcanzada, tiempo de vuelo, velocidad estimada) aplicando métodos de análisis científico.

Estos objetivos pueden verse ampliados, recortados, o adaptados en función de la modalidad del cohete que diseñe el alumnado. Estos objetivos se relacionan de la siguiente forma con los contenidos curriculares correspondientes a 4º de la ESO establecidos por el Decreto 39/2022 de la Junta de Castilla y León (Tabla 8):

*Tabla 8: Compatibilidad de objetivos relacionados con los contenidos curriculares de 4ºESO.*

Bloque de Contenido	Contenidos	Grado de consecución
<b>BA.</b> Las destrezas científicas básicas	1. El lenguaje científico: manejo adecuado de distintos sistemas de unidades y sus símbolos, cobrando especial importancia el Sistema Internacional de unidades. Magnitudes fundamentales y derivadas. Magnitudes escalares y vectoriales. Herramientas matemáticas adecuadas en diferentes entornos científicos y de aprendizaje.	+++
	2. Identificación de las diferentes etapas del método científico a partir de un texto donde se refleje la investigación científica.	+
	3. Trabajo experimental y proyectos de investigación: estrategias en la resolución de problemas y el tratamiento del error: incertidumbre absoluta y relativa y la expresión del resultado (medida y error) con el número correcto de cifras significativas, mediante la indagación, la deducción, la búsqueda de evidencias y el razonamiento lógico-matemático, haciendo inferencias válidas de las observaciones y obteniendo conclusiones que vayan más allá de las condiciones experimentales para aplicarlas a nuevos escenarios.	+++
	4. Diversos entornos y recursos de aprendizaje científico como el laboratorio o los entornos virtuales: materiales, sustancias, instrumentos y herramientas tecnológicas.	+++
	5. Normas de uso de cada espacio, asegurando y protegiendo así la salud propia y comunitaria, la seguridad en las redes y el respeto hacia el medio ambiente.	+++
	6. Estrategias de interpretación y producción de información científica en diferentes formatos y a partir de diferentes medios: desarrollo de un criterio propio basado en lo que el pensamiento científico aporta a la mejora de la sociedad para hacerla más justa, equitativa e igualitaria.	+++

	7. Valoración de la cultura científica y del papel de científicos y científicas en los principales hitos históricos y actuales de la física y la química para el avance y la mejora de la sociedad.	+
<b>BB. La materia</b>	1. Cuantificación de la cantidad de materia: cálculo del número de moles de sistemas materiales de diferente naturaleza, manejando con soltura las diferentes formas de medida y expresión de la misma en el entorno científico.	+++ [en caso de ser cohetes químicos]
	2. Sistemas materiales: resolución de problemas y situaciones de aprendizaje diversas sobre las disoluciones (concentración en g/L, mol/L, porcentaje en masa y volumen) y los gases, entre otros sistemas materiales significativos.	+++ [en caso de ser cohetes químicos]
	3. Modelos atómicos: desarrollo histórico de los principales modelos atómicos clásicos y cuánticos y descripción de las partículas subatómicas, estableciendo su relación con los avances de la física y de la química.	+
	4. Estructura electrónica de los átomos: configuración electrónica de un átomo y su relación con la posición del mismo en la tabla periódica y con sus propiedades fisicoquímicas (radio atómico y carácter metálico y no metálico).	+
	5. Compuestos químicos: su formación (enlace iónico, covalente y metálico), propiedades físicas y químicas y valoración de su utilidad e importancia en otros campos como la ingeniería, el diseño de materiales o el deporte.	+++ [en caso de ser cohetes químicos]
	6. Nomenclatura inorgánica: denominación de sustancias simples, iones y compuestos químicos binarios y ternarios mediante las normas de la IUPAC.	++ [en caso de ser cohetes químicos]
	7. Introducción a la nomenclatura orgánica: denominación de compuestos orgánicos monofuncionales (alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y ésteres) a partir de las normas de la IUPAC como base para entender la gran variedad de compuestos del entorno basados en el carbono.	++ [en caso de ser cohetes químicos]
<b>BC. La energía</b>	1. La energía: formulación y comprobación de hipótesis sobre las distintas formas y aplicaciones de la energía, a partir de sus propiedades y del principio de conservación, como base para la experimentación y la resolución de problemas relacionados con la energía mecánica en situaciones cotidianas.	+++

	2. Transferencias de energía: el trabajo y el calor como formas de transferencia de energía entre sistemas relacionados con fuerzas: conceptos de trabajo y potencia, o la diferencia de temperatura: concepto de calor y equilibrio térmico entre dos sistemas. La luz y el sonido como ondas que transfieren energía.	+++
	3. La energía en nuestro mundo: estimación de la energía consumida en la vida cotidiana mediante la búsqueda de información contrastada, la experimentación y el razonamiento científico, comprendiendo la importancia de la energía en la sociedad, su producción (rendimiento del proceso) y su uso responsable.	+
<b>BD. La interacción</b>	1. Predicción y comprobación, utilizando la experimentación y el razonamiento lógico-matemático, de las principales magnitudes de la cinemática, ecuaciones y gráficas que describen el movimiento de un cuerpo (rectilíneo uniforme, movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y movimiento circular uniforme), relacionándolo con situaciones cotidianas y la mejora de la calidad de vida.	+++ [en caso de profundizar el aspecto matemático]
	2. Leyes de Newton. La fuerza como agente de cambios en los cuerpos: principio fundamental de la Física que se aplica a otros campos como el diseño, el deporte y la ingeniería.	+++
	3. Carácter vectorial de las fuerzas: uso del álgebra vectorial básica para la realización gráfica y numérica de operaciones con fuerzas y su aplicación a la resolución de problemas relacionados con sistemas sometidos a conjuntos de fuerzas, valorando su importancia en situaciones cotidianas.	+++ [en caso de profundizar el aspecto matemático]
	4. Principales fuerzas del entorno cotidiano: reconocimiento del peso, la normal, el rozamiento, la tensión o el empuje, y su uso en la explicación de fenómenos físicos en distintos escenarios.	+++
	5. Ley de gravitación universal: atracción entre los cuerpos que componen el universo. Concepto de peso.	++
	6. Fuerzas y presión en los fluidos: efectos de las fuerzas y la presión sobre los líquidos y los gases, estudiando los principios fundamentales que las describen. Interpretación de fenómenos meteorológicos y mapas del tiempo	+++ [en caso de ser cohetes neumáticos o de presión]
<b>BE. El cambio</b>	1. Ecuaciones químicas: ajuste de las reacciones químicas, y realización de predicciones cualitativas y cuantitativas basadas en la estequiometría, relacionándolas con procesos fisicoquímicos de la industria, el medioambiente y la sociedad.	+++ [en caso de ser cohetes químicos]



	2. Descripción cualitativa de reacciones químicas de interés: reacciones de combustión, neutralización y procesos electroquímicos sencillos, valorando las implicaciones que tienen en la tecnología, la sociedad o el medio ambiente.	+++ [en caso de ser cohetes químicos]
	3. Factores que influyen en la velocidad de las reacciones químicas: comprensión de cómo ocurre la reordenación de los átomos aplicando modelos como la teoría de colisiones y realización de predicciones en los procesos químicos cotidianos más importantes.	+++ [en caso de ser cohetes químicos]

Como vemos, este proyecto en principio consigue integrar en casi su absoluta totalidad los contenidos curriculares del ciclo académico en cuestión. Proyectos usando otros modelos de cohetes pueden añadir o eliminar algunos contenidos curriculares con relación a su pertinencia; por ejemplo, cohetes neumáticos, electrónicos, de contrapeso o mecánicos no necesitan incluir ninguno de los contenidos correspondientes a los bloques B y E.

Esta transversalidad de contenidos resulta en que casi todos los criterios de evaluación y descriptores de logro establecidos por la normativa vigente sean trabajados de una u otra forma, como podemos ver a continuación (Tabla 9):

*Tabla 9: Compatibilidad del trabajo propuesto con los criterios de evaluación.*

Competencia Específica	Criterio de Evaluación	Grado de consecución
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. (CCL1, STEM1, STEM2, STEM, CD1, CPSAA4)	1.1 Comprender y explicar con rigor los fenómenos fisicoquímicos cotidianos a partir de los principios, teorías y leyes científicas adecuadas, expresándolos de manera argumentada, utilizando diversidad de soportes (textos, tablas, representaciones esquemáticas, gráficas y aplicaciones informáticas) y medios de comunicación. (CCL1, STEM 2, CD1)	+++
	1.2 Resolver los problemas fisicoquímicos planteados mediante las leyes y teorías científicas adecuadas, razonando los procedimientos utilizados para encontrar las soluciones y expresando los resultados con corrección y precisión. (CCL1, STEM1, STEM2, STEM 4)	+++
	1.3 Reconocer y describir situaciones problemáticas reales de índole científica y emprender iniciativas colaborativas en las que la ciencia, y en particular la física y la química, pueden contribuir a su solución, analizando críticamente su impacto en la sociedad y el medio ambiente. (CCL1, STEM 2, CPSAA4)	+++

<p>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 indagación y la búsqueda de evidencias, para desarrollar los razonamientos propios del pensamiento científico y mejorar las destrezas en el uso de las metodologías científicas.</p> <p>(CCL1, CCL3, STEM1, STEM2, STEM 4, CD1, CPSAA4, CE1, CCEC3)</p>	<p>2.1 Emplear las metodologías propias de la ciencia en la identificación y descripción de fenómenos científicos a partir de situaciones tanto observadas en el mundo natural o generadas en un laboratorio como planteadas a través de enunciados con información textual, gráfica o numérica. (CCL1, CCL3, STEM1, STEM2, STEM4, CD1, CPSAA4, CCEC3)</p>	++
	<p>2.2 Predecir, para las cuestiones planteadas, respuestas que se puedan comprobar con las herramientas y conocimientos adquiridos, tanto de forma experimental como deductiva, aplicando el razonamiento lógico-matemático en su proceso de validación. (CCL1, CCL3, STEM1, STEM2, CD1, CPSAA4)</p>	+++
	<p>2.3 Aplicar las leyes y teorías científicas más importantes para validar hipótesis de manera informada y coherente con el conocimiento científico existente, diseñando de forma pautada, los procedimientos experimentales o deductivos necesarios para resolverlas y analizando los resultados críticamente. (STEM 1, STEM 2, CPSAA4, CE1)</p>	+++
<p>3. Manejar con soltura las reglas y normas básicas de la física y la química en lo referente al lenguaje de la IUPAC, al lenguaje matemático, al empleo de unidades de medida correctas, al uso seguro del laboratorio y a la interpretación y producción de datos e información en diferentes formatos y fuentes, para reconocer el carácter universal y transversal del lenguaje científico y la necesidad de una comunicación fiable en investigación y ciencia entre diferentes países y culturas.</p> <p>(STEM4, STEM5, CD3, CPSAA2, CPSAA4, CC1, CCEC2, CCEC4)</p>	<p>3.1 Emplear fuentes variadas (textos, gráficas y tablas), fiables y seguras para seleccionar, interpretar, organizar y comunicar información relativa a un proceso fisicoquímico concreto, relacionando entre sí lo que cada una de ellas contiene, extrayendo en cada caso lo más relevante para la resolución de un problema y desechando todo lo que sea irrelevante. (STEM4, CD3, CPSAA4, CCEC2, CCEC4)</p>	+++
	<p>3.2 Utilizar adecuadamente las reglas básicas de la física y la química, incluyendo el uso correcto de varios sistemas de unidades, las herramientas matemáticas necesarias y las reglas de nomenclatura avanzadas, consiguiendo una comunicación efectiva con toda la comunidad científica. (STEM4, CD3, CC1, CCEC2)</p>	+++
	<p>3.3 Aplicar con rigor las normas de uso de los espacios específicos de la ciencia, como el laboratorio de física y química, asegurando la salud propia y colectiva, la conservación sostenible del medio ambiente y el cuidado de las instalaciones. (STEM5, CPSAA2, CC1)</p>	+++

<p>4. Utilizar de forma crítica, eficiente y segura plataformas digitales y recursos variados, tanto para el trabajo individual como en equipo, para fomentar la creatividad, el desarrollo personal y el aprendizaje individual y social, mediante la consulta de información, la creación de materiales y la comunicación efectiva en los diferentes entornos de aprendizaje.</p> <p>(CCL2, CCL3, STEM4, CD1, CD2, CD3, CPSAA3, CPSAA4, CE3, CCEC4)</p>	<p>4.1 Utilizar de forma eficiente recursos variados, tradicionales y digitales, como el laboratorio o simulaciones informáticas, mejorando el aprendizaje autónomo y la interacción con otros miembros de la comunidad educativa, de forma rigurosa y respetuosa y analizando críticamente las aportaciones de cada participante. (CCL3, STEM4, CD1, CD2, CD3, CPSAA3, CPSAA4)</p>	+++
	<p>4.2 Trabajar de forma versátil con medios variados, tradicionales y digitales, en la consulta de información y la creación de contenidos, seleccionando y empleando con criterio las fuentes y herramientas más fiables, desechando las menos adecuadas y mejorando el aprendizaje propio y colectivo. (CCL2, CCL3, STEM4, CD1, CD2, CD3, CPSAA3, CPSAA4, CE3, CCEC4)</p>	+++
<p>5. Utilizar las estrategias propias del trabajo colaborativo, potenciando el crecimiento entre iguales como base emprendedora de una comunidad científica crítica, ética y eficiente, para comprender la importancia de la ciencia en la mejora de la sociedad, las aplicaciones y repercusiones de los avances científicos, la preservación de la salud y la conservación sostenible del medio ambiente.</p> <p>(CCL5, CP3, STEM3, STEM5, CD3, CPSAA3, CC3, CE2)</p>	<p>5.1 Establecer interacciones constructivas y coeducativas, emprendiendo actividades de cooperación e iniciando el uso de las estrategias propias del trabajo colaborativo, como forma de construir un medio de trabajo eficiente en la ciencia. (CCL5, CP3, STEM5, CD3, CPSAA3, CC3, CE2)</p>	+++
	<p>5.2 Emprender, de forma autónoma y de acuerdo con la metodología adecuada, proyectos científicos que involucren al alumnado en la mejora de la sociedad y que creen valor para el individuo y para la comunidad. (STEM3, STEM5, CE2)</p>	++

6. Comprender y valorar la ciencia como una construcción colectiva en continuo cambio y evolución, en la que no solo participan las personas dedicadas a ella, sino que también requiere de una interacción con el resto de la sociedad, para obtener resultados que repercutan en el avance tecnológico, económico, ambiental y social.  (STEM2, STEM5, CD4, CPSAA1, CPSAA4, CC3, CC4, CCEC1)	6.1 Reconocer y valorar, a través del análisis histórico de los avances científicos logrados por mujeres y hombres, así como de situaciones y contextos actuales (líneas de investigación, instituciones científicas, etc.), que la ciencia es un proceso en permanente construcción y que esta tiene repercusiones e implicaciones importantes sobre la sociedad actual. (STEM2, CD4, CPSAA1, CPSAA4, CC3, CCEC1)	+
	6.2 Detectar las necesidades tecnológicas, ambientales, económicas y sociales más importantes que demanda la sociedad, entendiendo la capacidad de la ciencia para darles solución sostenible a través de la implicación de la ciudadanía. (STEM5, CD4, CC4)	+

#### 4.5.2. Planificación del proyecto

##### 4.5.2.1. Recursos necesarios

Obviamente, los recursos necesarios para la implementación del proyecto varían mucho dependiendo de la tipología del cohete, pero hay muchos que son transversales. A continuación, se ofrece una lista ejemplar no exhaustiva de los distintos recursos necesarios (Tabla 10):

Tabla 10: Recursos sugeridos para proyectos con cohetes

Tipo de recurso	Nombre Descripción y modo de uso	Plataforma
Libro de texto	<b>Física y Química 4º ESO</b> Libro de texto transversal a la programación didáctica, sirve de orientación y respaldo para los alumnos a lo largo de las distintas unidades de programación. La editorial y la disposición de los contenidos pueden variar.	Físico
	<b>Matemáticas 4º ESO</b> Libro de texto transversal a la programación didáctica, sirve de orientación y respaldo para los alumnos a lo largo de las distintas unidades de programación. La editorial y la disposición de los contenidos pueden variar.	
	<b>Tecnología 4º ESO</b> Libro de texto transversal a la programación didáctica, sirve de orientación y respaldo para los alumnos a lo largo de las distintas unidades de programación. La editorial y la disposición de los contenidos pueden variar.	
Herramienta de búsqueda	<b>Ordenadores portátiles</b> Ordenadores portátiles propiedad del centro educativo para la búsqueda de información	Físico

Software	<b>Microsoft Teams</b> Plataforma de teletrabajo, permite la organización de los equipos de forma telemática.	Digital, pagado. Su suscripción suele estar subvencionada por la Junta.
	<b>Google Drive</b> Plataforma de archivos en la nube, permite compartir archivos y recursos entre los usuarios.	Digital, gratuito. Requiere cuenta.
	<b>Tracker Online</b> Recurso gratuito, para la simulación de movimientos.	Digital, gratuito. <a href="https://opensourcephysics.github.io/tracker-online/">https://opensourcephysics.github.io/tracker-online/</a>
	<b>Arduino</b> Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto que facilita la creación de proyectos electrónicos interactivos.	Digital, pagado. Su suscripción suele estar subvencionada por el centro
	<b>Open Rocket</b> Software gratuito y de código abierto, para el diseño y la simulación del vuelo de cohetes modelo. Permitiendo modelar sus cohetes, calcular propiedades aerodinámicas y simular el vuelo para analizar el rendimiento antes de la construcción física	Digital, gratuito. <a href="https://openrocket.info/">https://openrocket.info/</a>
Herramientas de construcción	<b>Materiales de construcción</b> Tubos PVC, palos de madera, contrapesos, gomas elásticas/resortes, lanzadores de madera o plástico	Físico
	<b>Tijeras, cutters.</b>	
	<b>Pegamento</b> Distintos tipos: de barra, pistolas de silicona, <i>duct tape</i> ...	
	<b>Material de escritura y equivalente a pinturas</b> Para el elemento artístico del diseño.	
Herramientas de propulsión	<b>Bomba de aire</b> Para impulsar cohetes neumáticos.	
Compuestos químicos	<b>Compuestos Ácidos o bases</b> Ejemplos de ácidos tanto domésticos como de laboratorio: ácido acético, ácido cítrico, ácido clorhídrico; Al igual que las bases como el bicarbonato de sodio o la sosa	Físico
	<b>Comburentes y compuestos oxidantes</b> Bomba de oxígeno, óxido nitroso [N <sub>2</sub> O] u oxígeno líquido [LOX]	
	<b>Combustibles y compuestos reductores</b> Nitrato de potasio junto con glucosar (KNO <sub>3</sub> + C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> ); de nitrato de potasio, carbón vegetal y azufre	
Herramientas de trabajo	<b>Calculadora, Guantes y gafas de seguridad</b>	

#### 4.5.2.3. Medidas para el DUA

El Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) es un enfoque educativo que busca atender la diversidad en el aula mediante la creación de entornos de aprendizaje flexibles que se adapten a las necesidades de todos los estudiantes. Estrategias habituales de atención a la diversidad, como el uso de materiales variados, herramientas digitales, modalidades de accesibilidad, distintos instrumentos de evaluación, o programas de tutoría, son inherentes al modelo ABPxSTEAM propuesto. Es decir, el mismo proyecto en sí mismo puede ser considerado como una aplicación r del DUA desde el momento de su concepción. No obstante, en función del tipo de cohete a crear el DUA contará con las estrategias pertinentes.

#### 4.5.3. Organización del tiempo y recursos

Un factor decisivo que se debe tener en cuenta y que, en muchas circunstancias, está fuera del control del profesor, es el tiempo disponible que tenemos para realizar el proyecto. Para una correcta implementación ABPxSTEAM, este proyecto debería desarrollarse de forma paralela a lo largo de distintas asignaturas, lo que, si bien puede recortar mucho el tiempo necesario para llegar al final, corre el riesgo de sobreesaturar a los alumnos en una carrera frenética hacia la meta, y comprometer el cambio significativo en la educación de nuestros estudiantes. Por supuesto, esto es mejor que nada, pero en un mundo ideal, el proyecto podría ocupar un cuatrimestre completo para su implementación, pues permite que cada parte de este pueda “respirar” y desarrollarse con naturalidad. De esta forma, los alumnos pueden aprender conceptos teóricos a lo largo de las distintas asignaturas involucradas que pueden incluir en su proyecto si así lo desean, en vez de encontrarse obligados a ello para cumplir con una fecha límite arbitraria. Como hemos visto previamente, esta propuesta no es particularmente inconveniente para la asignatura de Física y Química, pues engloba la gran mayoría de los contenidos anuales, pero ese puede no ser el caso de las asignaturas complementarias, como Matemáticas, Tecnología o Artes, lo que dificulta este cronograma ideal.

Al momento de establecer los plazos del trabajo, más vale que sobre tiempo que a que falte, pues estos proyectos deberían ser posibles de desarrollarse en su totalidad exclusivamente dentro del horario escolar para evitar que los alumnos se lleven el trabajo a sus hogares. Por una parte, no sería ni ético ni mucho menos adecuado, puesto a que el proceso ha de ser supervisado por el docente; en caso de moverse el trabajo a casa, esta dinámica guía se rompe. Por otra parte, tener que alcanzar sus objetivos en un plazo de tiempo tan limitado ayudará a los alumnos a ser responsables con sus tiempos, puesto a que no pueden recurrir a prórrogas, por lo que han de evitar cualquier distracción que pueda resultar en un malgasto de tiempo.

##### 4.5.3.1. Temporalización del proyecto

Debido a las posibilidades presentadas por la variedad tipológica de los cohetes, se nos perfilan dos posibles formas de temporalización: la temporalización unidisciplinar y la temporalización multidisciplinar.

La temporalización unidisciplinar se refiere a aquella que puede realizarse exclusivamente dentro del horario lectivo de Física y Química (3 horas semanales), puesto a que no necesita de más para sus fundamentos. Esta se sugiere para proyectos cortos y sencillos, más propios de cursos inferiores, puesto a que ofrece la ventaja de la facilidad

en deterioro de un proyecto que vaya más a fondo y saque mayor provecho del enfoque ABPxSTEAM. Por lo tanto, si bien no es preferible, es posible. La siguiente tabla (Tabla 9) se elabora a partir de esta premisa:

*Tabla 11: Temporalización unidisciplinar breve*

Temporalización unidisciplinar			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
<i>Sesión 1</i> Fase preliminar	<i>Sesión 4</i> Fase de investigación	<i>Sesión 7</i> Fase de producción	<i>Sesión 10</i> Fase de producción
<i>Sesión 2</i> Fase de investigación	<i>Sesión 5</i> Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 8</i> Fase de producción	<i>Sesión 11</i> Fase de producción
<i>Sesión 3</i> Fase de investigación	<i>Sesión 6</i> Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 9</i> Fase de producción	<i>Sesión 12</i> Presentación

La temporalización multidisciplinar, como se aludió previamente, es la alternativa preferible para alcanzar los resultados deseables, pero acarrea múltiples complicaciones de índole logística al momento de alinear los objetivos, los recursos y la temporalización de distintas asignaturas. A esto se suma la posibilidad de que, debido a la optatividad del currículum de la segunda fase del ciclo de enseñanza superior, estas asignaturas no compartan a todos sus alumnos, de forma que la composición del aula puede variar, a veces drásticamente.

La Tabla 12 se elabora a partir de la premisa de un mundo ideal en el que tres asignaturas, Física y Química, Matemáticas Avanzadas y Tecnología, comparten a todo su alumnado sin variaciones, equitativamente distribuidas en el tiempo, y que no ven sus clases interrumpidas por festivos. Estamos hablando, pues, de un mínimo de 9 sesiones semanales, lo que es francamente excesivo, y puede saturar a los alumnos, en desmedro de la motivación y del aprendizaje.

Tabla 12: Temporalización multidisciplinar intensiva

Temporalización multidisciplinar			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase preliminar	<i>Sesión 10</i> [Física y Química] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 19</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 28</i> [Física y Química] Fase de producción
<i>Sesión 2</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase preliminar: Organización	<i>Sesión 11</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 20</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de producción	<i>Sesión 29</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de producción
<i>Sesión 3</i> [Tecnología] Fase preliminar: Objetivos	<i>Sesión 12</i> [Tecnología] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 21</i> [Tecnología] Fase de producción	<i>Sesión 30</i> [Tecnología] Fase de producción
<i>Sesión 4</i> [Física y Química] Fase de investigación	<i>Sesión 13</i> [Física y Química] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 22</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 31</i> [Física y Química] Fase de producción
<i>Sesión 5</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de investigación	<i>Sesión 14</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 23</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de producción	<i>Sesión 32</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de producción
<i>Sesión 6</i> [Tecnología] Fase de investigación	<i>Sesión 15</i> [Tecnología] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 24</i> [Tecnología] Fase de producción	<i>Sesión 33</i> [Tecnología] Fase de producción
<i>Sesión 7</i> [Física y Química] Fase de investigación	<i>Sesión 16</i> [Física y Química] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 25</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 34</i> [Física y Química] Presentación 1
<i>Sesión 8</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de investigación	<i>Sesión 17</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 26</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de producción	<i>Sesión 35</i> [Matemáticas Avanzadas] Presentación 2
<i>Sesión 9</i> [Tecnología] Fase de investigación	<i>Sesión 18</i> [Tecnología] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 27</i> [Tecnología] Fase de producción	<i>Sesión 36</i> [Tecnología] Presentación 3

Como se puede concluir de estas temporalizaciones, lo ideal sería un punto medio entre ambas propuestas: un proyecto más prolongado en el tiempo, en el que las asignaturas complementarias cumplan un rol secundario, de forma que se aligere tanto la carga



logística en el profesorado como la carga educativa en el alumnado, permitiendo que el proyecto se desarrolle más naturalmente. Un ejemplo de este punto medio ideal sería el que ejemplificamos en la siguiente tabla, en el cual sólo dedicamos dos horas lectivas semanales por parte de las asignaturas complementarias, resultando en 5 sesiones semanales distribuidas en el tiempo de acuerdo con las necesidades de la fase en la que se ubica.

Tabla 13: Temporalización óptima

Temporalización multidisciplinar ideal				
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase preliminar	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de investigación	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción
<i>Sesión 8</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase preliminar: Organización	<i>Sesión 8</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de investigación	<i>Sesión 8</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de producción	<i>Sesión 27</i> [Tecnología] Fase de producción	<i>Sesión 27</i> [Tecnología] Fase de producción
<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de investigación	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de investigación	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción
<i>Sesión 8</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de investigación	<i>Sesión 8</i> [Matemáticas Avanzadas] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 27</i> [Tecnología] Fase de producción	<i>Sesión 27</i> [Tecnología] Fase de producción	<i>Sesión 27</i> [Tecnología] Presentación 1
<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de investigación	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de análisis y síntesis	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Fase de producción	<i>Sesión 1</i> [Física y Química] Presentación 2

#### 4.5.3.2. Definición de los productos de evaluación

El siguiente paso es la definición del producto o reto final, el cual debe estar alineado con las competencias que se busca desarrollar en los estudiantes. Estas ya las abordamos previamente en el apartado 3.6.3. Debido a la multiplicidad de formas que puede adoptar este producto, lo óptimo sería proporcionarles a los estudiantes un enunciado que detalle los criterios de evaluación, garantizando transparencia y claridad en las expectativas de desempeño. Para ello, el uso de rúbricas (diarias o periódicas) puede ser una herramienta clave. En caso de tratarse de entregas diarias, proponemos este breve ejemplo fragmentario (Tabla 14):

Tabla 14: Productos de evaluación.

Sesión	Producto intermedio	Competencias focalizadas	Formato	Producto esperado
1	Informe de investigación: Física de cohetes + propuestas de diseños (primeros bocetos)	Análisis crítico, alfabetización científica	Documento digital (PDF)	Motivación y tema definido junto con informe de investigación.
2	Prototipo digital (planos) + cálculos de estabilidad	Competencia digital, modelización matemática	Archivo CAD + hoja de cálculos	Bosquejo técnico + cálculos
3	Maqueta física preliminar (prueba de materiales) + videodiario de proceso (max. 3 min.)	Creatividad, comunicación audiovisual	Maqueta + Enlace de youtube	Primer modelo físico
3	Campaña de sensibilización: “cohetes sostenibles” (impacto ambiental del proyecto)	Conciencia ecológica, persuasión	Póster digital publicado en redes sociales	Informe de reflexión

No olvidemos, eso sí, que, al momento de seleccionar actividades y estrategias, y su secuenciación en el aula, debe primar la eficiencia y el impacto sobre la cantidad; es decir, es preferible centrarse en acciones significativas que realmente contribuyan al logro de los objetivos del proyecto. Para ello, es necesario evaluar en qué medida cada actividad prevista favorece la consecución del reto planteado. Del mismo modo, se recomienda diversificar los plazos de entrega de las tareas, combinando actividades de corto, medio y largo plazo que mantengan el ritmo y la motivación del grupo y no les sature a entregas inmediatas que no podrán desarrollar a cabalidad antes de la fecha límite.

Finalmente, es fundamental velar por la integración de una perspectiva de género a lo largo de la fase del proyecto, cuidando que las dinámicas grupales y la asignación de roles promuevan la equidad y la participación equilibrada.

Ofrecer rúbricas prediseñadas por nosotros puede no ser lo más conveniente, ya que las circunstancias planteadas por el contexto educativo propio son demasiado amplias y variables para poder crear un esquema único y de talla única. Consideraciones sobre las evaluaciones serán abordadas en su respectiva fase.

Con todo esto desarrollado, el docente ya debería tener armada una situación de aprendizaje que pueda incorporar en su programación general anual. Ahora, queda en manos de los estudiantes.

#### 4.5.4. Implementación en el aula

Tras la presentación del proyecto, la formulación del problema, la introducción de la pregunta guía y la organización del alumnado en grupos de trabajo, el siguiente paso consiste en el desarrollo de las actividades didácticas planificadas.

##### 4.5.4.1. Fase preliminar

Una vez definida la pregunta guía, se procede a la formación de los equipos de trabajo. Se recomienda la conformación de grupos heterogéneos de cuatro estudiantes, lo que permite la distribución equitativa de roles, la colaboración mediante subdivisiones numéricamente pares, y la potenciación de las habilidades individuales en el contexto colaborativo. La diversidad dentro de los equipos facilita la resolución de problemas desde múltiples enfoques y promueve la responsabilidad compartida, al igual que impulsar la socialización entre los estudiantes con compañeros ajenos a sus grupos sociales habituales, por lo que también se recomienda que los grupos sean estructurados por el profesor, aunque esto queda a su discreción. Si las condiciones lo permiten, se pueden realizar grupos más grandes de estudiantes y se puede jugar con aprendizaje colaborativo y cooperativo, según los objetivos del proyecto, aunque hay que tener cautela, puesto a que es sabido que los grupos más grandes crean redundancia en algunos miembros, generando pasividad en los estudiantes que “sobran”.

En ese sentido, nuestra principal prioridad de armar los grupos es evitar la redundancia. Una de las mejores herramientas para esto es la creación de subgrupos especializados en distintas partes del proyecto, como sería un subgrupo de diseño, un subgrupo de construcción, otro de logística, otro de marketing (para la presentación) ... Estos subgrupos pueden ser rígidos o flexibles; todo esto queda a la discreción del alumnado y de sus recursos humanos disponibles.

Los grupos, en cuanto responsables de su propia gestión, deben elaborar un plan de tareas específicas, los subgrupos que se dedicarán a cada actividad, y el cronograma de ejecución. Esta actividad podría tomar una sesión de trabajo completa, para darles tiempo a los estudiantes para desarrollarla con naturalidad y en base a los acuerdos consensuados. Este cronograma, entonces, será el producto intermedio entregado al concluir la sesión.

##### 4.5.4.2. Fase de investigación

Los estudiantes deben recopilar, analizar y contrastar información relevante para el desarrollo del proyecto. En este punto, el rol del docente se transforma en el de un proveedor y facilitar de información, guiando a los alumnos en el proceso de búsqueda y garantizando el uso de fuentes confiables y verificadas.

Esta fase puede verse complementada con la instrucción directa y explícita del profesor a través de clases teóricas, por lo que su extensión en el tiempo puede ser muy variable. Ha de preferirse, empero, una fase relativamente prolongada en el tiempo, de modo que los resultados de la investigación no sólo tengan tiempo para calar, sino para ser contrastados, suplementados, o incluso negados (en caso de ser erróneos) por nuevas informaciones. En este sentido, se recomienda progresar gradualmente para que los estudiantes desarrollen habilidades específicas antes de abordar tareas más complejas, lo que permitirá que llegue un punto en el que el apoyo progresivo del docente pueda ser eliminado, habiendo adquirido los estudiantes un ritmo de aprendizaje independiente.

#### 4.5.4.3. Fase de análisis y síntesis

Los estudiantes comparten sus hallazgos, debaten ideas, elaboran hipótesis y estructuran la información de manera organizada. Esta fase permite consolidar el conocimiento y sentar las bases para la elaboración del producto final. Si se dispone del tiempo suficiente, puede ser interesante y fructífero que los alumnos realicen una presentación preliminar en la que expongan sus conclusiones investigativas y su prototipo tentativo. Esta presentación, que emularía a la de un *startup* buscando inversores, puede ayudar a los alumnos no sólo a aclarar y perfilar sus ideas de una forma más nítida, sino también a desarrollar habilidades comunicativas como son las presentaciones o hablar en público.

#### 4.5.4.4. Fase de producción

Como su nombre indica, consiste en la construcción de los prototipos que han diseñado hasta ahora, pero también consiste en su experimentación y su subsecuente iteración a partir de los datos recabados en ella. Por necesidad, esta fase del proyecto requiere muchas sesiones para poder desarrollarse con propiedad. En este punto, el docente da un paso atrás y deja que los estudiantes tomen las riendas; desde este plano secundario, ha de guiar la resolución de los problemas que puedan irse presentando, pero siempre velando por el empoderamiento práctico del alumnado.

Llegado a este punto, es preciso que no estén trabajando a ciegas, sino que dispongan de una retroalimentación adecuada, significativa y sugerente. Por esto nos referimos a que no tenemos que hundir su idea antes de haber empezado o escoger sus proyectos por ellos, ni mucho menos corregir los errores de diseño (no así los errores químicos, que pueden ser peligrosos). Incluso, sería preferible que, si su cohete está mal diseñado, falle, pues el objetivo es el proceso en sí mismo, y esto permite convertir su frustración en un aprendizaje. Esto es porque seguramente encontremos alumnos que opten por limitarse a emular vídeo tutoriales o prácticas preestablecidas, sea por pereza o por inseguridad en sus habilidades. Ante esta circunstancia, el profesor puede aprovechar para enseñarles a cómo referenciar y citar la propiedad intelectual ajena de una forma correcta y rigurosa, e incentivarlos a que le den su propia vuelta de tuerca a estos proyectos para hacerlos realmente suyos.

#### 4.5.6. Presentación y evaluación

Una vez finalizado el proyecto, se realiza la presentación del producto final. Aquí, los estudiantes exponen sus resultados ante sus compañeros, explicando de manera clara el proceso seguido, los aprendizajes adquiridos, y la solución propuesta al problema planteado. Para garantizar una exposición efectiva y ordenada, se recomienda que los estudiantes estructuren un guion, utilicen recursos visuales y, por supuesto, dominen a cabalidad los contenidos presentados. Esta presentación ha de incluir el lanzamiento del cohete final; opcionalmente, los alumnos pueden incluir entre sus recursos visuales vídeos mostrando los lanzamientos (y fracasos) de sus prototipos.

Esta presentación debe incluir también el análisis de los datos obtenidos y factores de optimización. Por esto nos referimos a registros de métricas como el tiempo de vuelo o la altura alcanzada (con clinómetro o apps como *Physics Toolbox*) y conclusiones que profundicen en qué factores mejoran el rendimiento y una explicación científica de *por qué* lo mejoran.

Finalizadas las presentaciones, se promueve una respuesta colectiva a la pregunta inicial, con el fin de integrar los conocimientos adquiridos por todos los grupos y fomentar la reflexión crítica sobre la experiencia vivida, a modo de consolidar el aprendizaje y concluir el proceso. Finalmente, se lleva a cabo la evaluación y autoevaluación del proceso, que abordaremos a continuación.

#### 4.6. Evaluación

Como aludimos previamente, las características concretas de los mecanismos de evaluación habrán de adaptarse al tipo de proyecto propuesto y al contexto educativo en el que se desarrolle. Por lo tanto, aquí nos limitaremos a hacer un repaso general sobre los distintos mecanismos con los que podemos disponer.

En primera instancia, identificamos tres ejes evaluativos distintos: el alumnado, el profesorado, y el ABP en sí.

##### 4.6.1. Evaluación del alumnado

La evaluación del proyecto propuesto debe contemplar una serie de criterios integrales y específicos que permitan valorar no solo el resultado final del prototipo construido, sino también el proceso completo de aprendizaje, diseño, experimentación, colaboración y reflexión que ha seguido el alumnado durante su desarrollo.

Con esto en mente, debemos distinguir dos tipos de evaluaciones, ambas cruciales para un ABP.

- **Evaluación Formativa**

- Se enfoca en la valoración continua durante el proceso de aprendizaje. Su propósito principal es proporcionar retroalimentación en tiempo real a estudiantes y educadores, permitiendo ajustes y mejoras continuas en la enseñanza y el aprendizaje. Esta evaluación es un proceso continuo de reflexión, mejora y evaluación, no una actividad de un solo día.
- “Cuando el cocinero prueba la sopa, es una evaluación formativa.”

- **Evaluación Sumativa**

- Se realiza al final de una unidad o proyecto para determinar el nivel de aprendizaje alcanzado y asegurar que se han logrado los resultados deseados. No requiere la participación continua del estudiante, sino solo de la versión final del producto que ha elaborado.
- “Cuando el comensal prueba la sopa, es una evaluación sumativa”.

Para poder responder a los parámetros de un ABP, al igual que a la normativa curricular vigente, ambos tipos de evaluaciones han de ser incorporados en una ponderación en la cual la evaluación formativa tenga el mayor peso. A nuestro parecer, una proporción que se ubique en algún punto entre el 60/40 y 80/20 sería la ideal para nuestro proyecto. Por lo tanto, amerita profundizar un poco más sobre las herramientas que tenemos a nuestra disposición al momento de hacer las evaluaciones formativas (Tabla 15).

Tabla 15: Instrumentos de evaluación.

Instrumento	Aplicación en Física/Química	Ventajas
Rúbricas analíticas	Evaluar informes que se fueron desarrollando durante el proyecto (hipótesis, método, análisis de errores)	- Criterios claros. - Retroalimentación precisa.
Portafolios digitales	Compilación de evidencias del proceso: bocetos, cálculos de física, vídeos de lanzamientos, reflexiones.	- Muestra evolución del aprendizaje - Variedad cualitativa
Dianas de evaluación	Autoevaluación grupal sobre eficacia en construcción, distribución de tareas y resolución de conflictos.	- Fomenta metacognición. - Colaboración grupal.
Pruebas prácticas	Evaluación de maquetas funcionales y prototipos.	- Aplica teoría a situaciones reales.
Rúbricas de destrezas	Valoración de manipulación de materiales (precisión, seguridad)	- Enfocado en competencias técnicas.

La evaluación propuesta se articula a partir de cinco dimensiones fundamentales: la competencia científico-matemática, la creatividad estético-funcional, la originalidad técnica, la colaboración efectiva entre los miembros del grupo, y el desarrollo del pensamiento crítico y la metacognición.

### 1. Dominio de la competencia científico-matemática

Uno de los pilares fundamentales de este proyecto es la aplicación real y significativa de conocimientos científicos y matemáticos. Para lograr un diseño funcional y eficaz, el alumnado ha debido emplear modelos físicos y químicos que, lejos de ser meramente teóricos, han cobrado vida a través de cálculos y simulaciones con aplicaciones concretas.

En este sentido, se valorará especialmente el uso adecuado y riguroso que los conceptos científicos implicados en el diseño y lanzamiento del cohete. Se espera que los alumnos hayan comprendido y aplicado principios como la ley de conservación de la masa, el impulso, la acción-reacción, la aerodinámica, el equilibrio de fuerzas o el centro de masas, entre otros. A nivel químico, en el caso de los cohetes impulsados por reacciones, también es relevante que hayan podido realizar cálculos estequiométricos como el número de moles, la proporción entre reactivos, o la generación de gases.

Asimismo, el correcto desarrollo del proyecto depende del apoyo matemático en múltiples niveles: desde la conversión precisa de unidades del sistema internacional, hasta el cálculo de áreas y volúmenes necesarios para estimar cantidad de material, pasando por operaciones relacionadas con cinemática (velocidad, aceleración) o dinámicas

energéticas. La precisión en estos cálculos no sólo refleja dominio conceptual, sino también la capacidad de resolver problemas reales aplicando herramientas matemáticas de forma eficaz.

También será evaluado el grado de comprensión y aplicación del método científico, lo cual implica que los alumnos hayan definido hipótesis claras, identificado y controlado variables, diseñado experimentos replicables y documentado adecuadamente sus resultados. Se valorará positivamente que hayan mostrado rigor en la recogida de datos, el análisis crítico de los mismos y la elaboración de conclusiones fundamentadas.

## **2. Creatividad estético-funcional y originalidad técnica**

Dentro del enfoque STEAM, el componente artístico y creativo del proyecto ocupa un lugar relevante. En este caso, se evaluará no solo la estética del cohete, sino su integración armónica con la funcionalidad del diseño. La creatividad debe ir de la mano con la eficiencia, de modo que las decisiones estéticas no comprometan el rendimiento aerodinámico ni la estabilidad del vuelo.

El componente artístico del proyecto será evaluado desde una perspectiva multidimensional, considerando tanto los aspectos estéticos como los funcionales en la presentación final de los cohetes. Esta evaluación no solo valorará la creatividad individual, sino también la capacidad del alumnado para integrar elementos visuales y simbólicos que refuercen el mensaje científico y social del proyecto. Se valorará, por tanto, la capacidad de los alumnos para dotar al cohete de un diseño visualmente atractivo (mediante formas, colores, pintura, acabados, etc.) sin perder de vista el objetivo funcional del mismo. Esta integración artístico-funcional representa una síntesis entre lo técnico y lo creativo que enriquece la experiencia de aprendizaje y pone en juego múltiples inteligencias y competencias.

Además, se tendrá muy en cuenta la originalidad de las soluciones técnicas adoptadas. No se trata únicamente de decorar el cohete, sino de ofrecer respuestas innovadoras a los retos técnicos que plantea el proyecto. Un ejemplo significativo puede ser el diseño e implementación de un sistema de recuperación, como el uso de un paracaídas, amortiguadores o alas desplegadas, que permita al cohete aterrizar de forma segura tras el lanzamiento.

En este punto es importante destacar que el alumnado deberá haber generado sus propias soluciones. Se penalizará explícitamente la copia directa de ideas técnicas o estéticas tomadas de internet o replicadas de compañeros, ya que se espera un proceso auténtico de investigación, prueba-error y creatividad.

## **3. Colaboración efectiva y distribución de responsabilidades.**

La construcción del cohete es, además de una actividad científica y técnica, un ejercicio de trabajo cooperativo. Por ello, uno de los aspectos que el profesorado debe evaluar con especial atención es el funcionamiento interno de los grupos de trabajo.

No basta con que el grupo entregue un cohete funcional: debe evaluarse si cada miembro ha participado activamente y ha cumplido con las responsabilidades que voluntariamente asumió al inicio del proyecto. En este sentido, se valorará si se ha producido una distribución equilibrada de roles. El docente observará también la capacidad de

negociación y resolución de conflictos del grupo. Por ejemplo, ante problemas de tipo logístico o presupuestario (ajuste del coste de materiales, tiempos de entrega, fallos técnicos imprevistos), los estudiantes deben haber mostrado habilidades de diálogo, adaptabilidad y pensamiento estratégico para tomar decisiones consensuadas.

En caso de detectarse una desigualdad marcada en la implicación entre los miembros del grupo, como la delegación de tareas sistemática por parte de un alumno a otro, esta situación será objeto de penalización. En tales casos, se recomienda realizar una evaluación individual diferenciada, ya que el objetivo es fomentar no solo la cooperación sino también la responsabilidad personal dentro del contexto grupal.

#### **4. Desarrollo del pensamiento crítico y metacognición**

Uno de los aprendizajes más importantes que este tipo de proyectos busca fomentar es el pensamiento crítico. Por eso, se debe prestar especial atención al modo en que el alumnado analiza los resultados obtenidos, en particular cuando estos no cumplen con las expectativas iniciales. No se debería penalizar automáticamente a un grupo por el hecho de que su cohete no vuele o fracase durante el lanzamiento. En lugar de eso, el énfasis debe ponerse en cómo el grupo analiza ese fallo y qué aprendizajes extrae de él. Un ejemplo claro de pensamiento crítico es cuando los alumnos identifican causas específicas y razonadas del error, como puede ser una inestabilidad provocada por un centro de gravedad mal situado o una masa desequilibrada.

Después de todo, el valor educativo del proyecto reside en buena medida en esta capacidad de analizar errores, interpretarlos con criterios científicos y proponer mejoras basadas en la evidencia. Esta competencia metacognitiva debe ser fomentada y evaluada como uno de los indicadores clave del éxito del proyecto. Además, se valorará que los estudiantes sepan comunicar estas reflexiones de forma clara y ordenada, empleando un lenguaje técnico adecuado, ya sea en informes escritos, presentaciones orales o debates en clase.

Dado que el Proyecto de Cohetes implica una notable variedad de criterios, dimensiones y evidencias que deben ser valoradas, es comprensible que su evaluación pueda resultar abrumadora para el profesorado. Integrar aspectos científicos, técnicos, artísticos, colaborativos y reflexivos en una sola experiencia de aprendizaje requiere una planificación rigurosa y una gestión eficaz del tiempo y los recursos.

Para hacer viable este enfoque en el contexto real del aula, especialmente cuando se trabaja con grupos numerosos o niveles de partida diversos, se recomienda adoptar una estrategia de evaluación progresiva y escalonada, es decir, una implementación gradual. Esta metodología permite al docente abordar la complejidad del proyecto sin sobrecargas, al tiempo que ofrece al alumnado una estructura clara y fases bien definidas de trabajo y mejora continua.

Este enfoque de implementación gradual no solo distribuye la carga evaluadora a lo largo del tiempo, sino que también empodera al alumnado como agente activo de su aprendizaje.



#### 4.6.2. Evaluación del profesorado

Por supuesto, la evaluación no concluye solamente en la nota que han de recibir los alumnos; a modo de estimular el constante perfeccionamiento de este proyecto y del papel jugado por el profesor, éstos han de evaluarle.

Entre los parámetros a considerar se incluyen aquellos como la claridad expositiva mediante la cual el profesor les propuso el proyecto, su desempeño como guía de acompañamiento, la calidad de sus sugerencias y retroalimentación, que podemos encontrar en la tabla de anexos 7.9 considerando aspectos como la claridad expositiva, el acompañamiento, la calidad de la retroalimentación y la generación de un clima de aprendizaje reflexivo y motivador todo aquello que podamos decir que hemos hecho desde nuestro papel docente para con los alumnos.

#### 4.6.3. Evaluación del ABPxSTEAM

Evaluar este tipo de propuestas innovadoras implica analizar en qué medida los objetivos que nos propusimos como docentes han sido alcanzados. Este análisis permite detectar fortalezas, debilidades, desviaciones u oportunidades presentes en el enfoque metodológico, en la organización logística o incluso en la adecuación del proyecto al contexto educativo. Al fin y al cabo, un proyecto de estas características, por muy bien diseñado que esté, puede fracasar si no se comprende bien el entorno, si se sobreestima la preparación del alumnado o si no se planifican adecuadamente los aspectos logísticos subyacentes al proyecto.

Para evaluar la eficacia de la implementación del proyecto, existen múltiples indicadores, parámetros y perspectivas que podemos utilizar, de índole tanto cuantitativa como cualitativa, cuya flexibilidad permite adaptarse a nuestros propósitos.

Por ejemplo, si nos interesa observar si el proyecto ABPxSTEAM ha tenido un efecto en el rendimiento a largo plazo de nuestro alumnado en las áreas científicas, podemos comparar los resultados evaluativos obtenidos por ellos antes y después de su implementación, a modo de verificar si es que se produce una mejora en las calificaciones de las materias vinculadas.

Del mismo modo, sería oportuno observar si ha ocurrido un cambio en otros indicadores de desempeño, como la calidad del trabajo entregado, la resolución autónoma de problemas, la capacidad de aplicar conocimientos a situaciones reales, las innovaciones surgidas a partir del proyecto e, incluso, simple y llanamente la frecuencia y calidad de las interacciones entre los alumnos y el profesor.

Otros mecanismos disponibles para obtener datos cuantitativos para la mejoría del proyecto son rúbricas evaluativas (rellenadas por el alumnado) o encuestas de satisfacción que recogen su percepción, al igual que la de otros agentes implicados, a modo de conocer los niveles de satisfacción general, así como la valoración que hacen de la utilidad de la innovación y su impacto en la experiencia de aprendizaje. En este sentido, herramientas como el *Net Promoter Score* (NPS), un indicador que mide la disposición del alumnado y/o profesorado a recomendar este proyecto a otros, o el *Test of Scientific Related Attitudes* (TOSRA), que mide las diversas actitudes relacionadas a la ciencia, pueden ser de enorme utilidad, y lo han sido ya.

No obstante, si el objetivo es centrarse de forma más específica en la motivación académica y en los factores emocionales asociados al aprendizaje de la ciencia, se puede recurrir a la escala de Motivación Académica (*Academic Motivation Scale* - AMS). Esta escala, basada en la teoría de la autodeterminación (Deci & Ryan), permite una evaluación más detallada de los distintos tipos de motivación (intrínseca, extrínseca y amotivación) que pueden influir en el rendimiento y la actitud del estudiante.

## 5. CONCLUSIONES

A modo de cierre, puede afirmarse que la propuesta desarrollada en este trabajo no se limita a ser una intervención puntual, sino que apunta a un cambio de paradigma en la enseñanza de estas disciplinas, proponiendo espacios de aprendizaje donde la indagación científica y la creatividad convergen. Así, la Física y la Química se presentan no como territorios reservados a unos pocos, sino como campos abiertos a la exploración colaborativa, al pensamiento crítico y a la construcción activa del conocimiento.

Otras ventajas se han hecho claramente visibles: la integración holística de los contenidos curriculares ha permitido aprovecharlos de forma poco habitual a las programaciones de la ESO en España, e incorporarlos de una forma que maximiza los beneficios del nuevo modelo educativo impulsado por la LOMLOE. Asimismo, la aplicación del enfoque STEAM contribuye a romper la falsa dicotomía entre ciencias y humanidades que sigue presente en el imaginario colectivo, haciéndolo más accesible a todos los estudiantes.

Si bien se ha tomado como referencia el currículo autonómico de Castilla y León, se ha priorizado en todo momento la creación de un marco metodológico estructurado, riguroso y flexible, capaz de ser replicado en una diversidad de contextos, y consciente de las desigualdades estructurales del sistema educativo.

En relación con los objetivos, tanto generales como específicos planteados, los resultados del trabajo pueden considerarse satisfactorios. Desde el punto de vista teórico, se ha contextualizado con solidez el panorama de la enseñanza científica en España, evidenciando sus carencias estructurales y justificando la necesidad de enfoques más motivadores, competenciales e interdisciplinarios. Del mismo modo, se ha fundamentado la sinergia entre ABP y STEAM a partir de la literatura científica disponible, y se ha validado el uso de la coherencia escolar como recursos pedagógico capaz de integrar contenidos curriculares, desarrollar competencias clave y despertar vocaciones científicas. En definitiva, al aportar un balance del estado de la cuestión que tenemos entre nuestras manos como docentes de Física y Química, el trabajo ha resultado exitoso.

### 5.1. Limitaciones y prospectiva

#### 5.1.1. *Limitaciones del trabajo*

Desde el punto de vista práctico, sin embargo, los resultados son menos concluyentes. En primer lugar, esta propuesta, tal y como ha sido diseñada, aún no ha sido implementada en un contexto de aula real, por lo que no se dispone de evidencia empírica sobre su eficacia. No se han recogido datos cuantitativos que permitan analizar mejoras en el rendimiento académico, la comprensión conceptual o la adquisición de competencias científicas; tampoco se cuenta, por el momento, con valoraciones cualitativas o el cambio actitudinal del alumnado hacia las ciencias.

Aunque la propuesta cuenta con una sólida fundamentación teórica, se mantiene en el plano hipotético, pendiente de ser contrastada mediante experiencias de aplicación en entornos escolares reales

La implementación de un proyecto STEAM con metodología ABP requiere una formación docente especializada, tanto en lo metodológico como en lo técnico. Además,

el desarrollo de actividades experimentales conlleva ciertas exigencias en términos de seguridad, manipulación de reactivos y disponibilidad de recursos adecuados.

La desigualdad en el acceso a la tecnología representa también un desafío importante. Aunque se contemplan variaciones low-cost, algunas vertientes más avanzadas (como el uso de sensores, impresión 3D o simulación computacional) requieren infraestructuras que no están al alcance de todos los centros, especialmente en entornos vulnerables. Esta limitación se ve agravada por la brecha digital que afecta al propio alumnado, particularmente en zonas periféricas sin conexión a internet estable, lo que condiciona la integración digital del proyecto..

Finalmente, deben destacarse los retos organizativos y estructurales que supone este tipo de proyectos. La implementación real entre disciplinas exige una coordinación docente transversal que puede verse limitada por estructuras escolares rígidas. Además, el proyecto no ha sido adaptado estudiantes con discapacidades visuales, motrices u otras de mayor talante, lo que condiciona su aplicación universal y su potencial inclusivo.

#### *5.1.2. Líneas de prospectiva y propuestas de mejora*

Teniendo en cuenta las limitaciones señaladas, se proponen a continuación una serie de posibles líneas de desarrollo de cara al futuro que permitirían consolidar la validez científica de esta propuesta, ampliar su alcance educativo y fortalecer su sostenibilidad e inclusividad a medio y largo plazo.

Una primera línea fundamental sería, la validación empírica del modelo. Se propone para ello la implementación de un proyecto piloto en varios centros públicos de Castilla y León, con un diseño experimental mixto que compare grupos de control y experimentales.. Esta experiencia podría aportar datos significativos mediante pruebas estandarizadas (pre-test y post-test), escalas de autoeficacia STEM y seguimiento de la elección de itinerarios científicos. Como complemento, se sugiere el desarrollo de un estudio longitudinal que evalúe el impacto sostenido del proyecto en la vocación científica del alumnado a lo largo de cinco años.

Desde el plano tecnológico, resulta prioritario avanzar hacia la democratización del acceso. Se plantea el diseño de kits pedagógicos reutilizables y de bajo coste, fabricados con materiales reciclables (como botellas PET, cartón o jeringas), así como el desarrollo de guías maker adaptadas a contextos escolares diversos. También se propone recopilar aplicaciones educativas que permitan analizar trayectorias (como Tracker), y explorar el uso de realidad aumentada mediante smartphones como herramienta accesible para simular fenómenos sin necesidad de equipos avanzados..

Desde una perspectiva inclusiva, se plantea la elaboración de protocolos específicos y materiales adaptados para estudiantes con necesidades educativas especiales. Por ejemplo, planos en relieve y guías táctiles para el alumnado con discapacidad visual,, y diseños modulares para facilitar el montaje de cohetes a estudiantes con dificultades motrices.

En cuanto a la sostenibilidad y escalabilidad del proyecto, sería relevante desarrollar una Red Ibérica de Cohetería Educativa, como una plataforma colaborativa que permita compartir recursos, prácticas exitosas, rúbricas, experiencias piloto y materiales didácticos en código abierto de forma libre y gratuita. Además, se propone explorar vías

de integración curricular específicas, como la inclusión del proyecto en programas de FP en Mantenimiento Aeronáutico, o su incorporación en unidades didácticas de Bachillerato Internacional mediante simulaciones computacionales con Python y Arduino.

Finalmente, se sugiere fortalecer el vínculo del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a través del diseño de cohetes solares, cargas útiles ecológicas o análisis de la calidad del aire, incorporando indicadores como la huella de carbono en los procesos de evaluación del alumnado.

En conjunto, estas posibles líneas de trabajo consolidan el potencial de esta propuesta no solo como una herramienta didáctica puntual, sino como una vía realista y transformadora para renovar la enseñanza de las ciencias desde un enfoque interdisciplinar, inclusivo y comprometido con los grandes desafíos del siglo XXI.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo, J. A., Vázquez, A., Martín, M., Oliva, J. M., Acevedo, P., Paixão, M. F., & Manassero, M. A. (2017). Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, \*14\*(2), 121-140. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3912>
2. ADDIE y UbD. (s. f.). *Understanding by Design (UbD)*. Defined Learning. Recuperado el 27 de junio de 2025, de <https://www.definedlearning.com/pd-center/understanding-by-design-ubd/>
3. *Aerospace America*. (2019). Recuperado el 28 de junio de 2025, de <https://aerospaceamerica.aiaa.org/year-in-review-index/2019/>
4. Alsina, Á. (2020). Conexiones matemáticas a través de actividades STEAM en Educación Infantil. *UNIÓN - Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, \*16\*(58), 168-190. <https://revistaunion.org.fespm.es/index.php/UNION/article/view/69>
5. Ayala, C. (2000). Teoría de la autodeterminación en el contexto de educación física: Una revisión sistemática. *Revista de Psicología General y Aplicada*, \*55\*(1), 68-78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
6. Baker Street Irregular Astronomers. (2025). *Monthly stargazing meetings and events* [Comunidad astronómica]. Regent's Park Hub, Londres.
7. Bautista, A. (2021). STEAM education: Contributing evidence of validity and effectiveness. *Infancia y Aprendizaje*, \*44\*(4), 755-768. <https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1926678>
8. Beymer, P. N., Flake, J. K., & Schmidt, J. A. (2023). Disentangling students' anticipated and experienced costs: The case for understanding both. *Journal of Educational Psychology*, \*115\*(4), 624-641. <https://doi.org/10.1037/edu0000789>
9. BOE-A-2020-17264, Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. (s. f.). Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-17264>
10. Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.
11. CEV. (s. f.). *Marco Metodológico*. Centro de Educación Virtual. Recuperado el 27 de junio de 2025, de <https://puceapex.puce.edu.ec/web/cev/marco-metodologico/>
12. Claycomb, J., & Zachary, C. (2009). Baking soda and vinegar rockets. *The Physics Teacher*, \*47\*(2), 88-90. <https://doi.org/10.1119/1.3072458>
13. Domènech Casal, J. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice: Revista de Educación Científica*, \*2\*(2), 29-42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6702622>
14. Domènech-Casal, J., Lope, S., & Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las*

- Ciencias, \*16\*(2), Artículo  
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)
15. Duque Cardona, V., & Largo Taborda, W. A. (2021). Desarrollo de las competencias científicas mediante la implementación del aprendizaje basado en problemas (ABP) en estudiantes de grado quinto. *Panorama*, \*15\*(28), 9-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8077233>
  16. Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. (2011). *Science education in Europe: National policies, practices and research*. European Commission. <https://eric.ed.gov/?id=ED541702>
  17. Elizondo Moreno, A., Rodríguez Rodríguez, J. V., & Rodríguez Rodríguez, I. (2018). La importancia de la emoción en el aprendizaje: Propuestas para mejorar la motivación de los estudiantes. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, \*15\*(29), 3-11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6855114>
  18. EsadeEcPol. (2024). *Mujeres en STEM 2024* [Informe]. Esade Center for Economic Policy. <https://www.esade.edu/ecpol/wp-content/uploads/2024/03/Mujeres-en-STEM-2024-1.pdf>
  19. Esteve, A. R., & Solbes, J. (2017). El desinterés de los estudiantes por las Ciencias y la Tecnología en el Bachillerato y los estudios universitarios. *Enseñanza de las Ciencias, Extra*, 573-578. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/334628>
  20. EU Code Week. (s. f.). *EU Code Week 2025: A year of creativity and coding*. Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://codeweek.eu/blog/eu-code-week-2025/>
  21. Fonseca, L. A. M. (2024). La Metodología STEAM y el ABP en la integración de saberes y desarrollo de competencias Matemáticas. *Revista Torreón Universitario*, \*13\*(38), 82-102. <https://doi.org/10.5377/rtu.v13i38.19354>
  22. *Hot water rocket / Steam rocket - World record attempt* [Vídeo]. (s. f.). YouTube. Recuperado el 27 de junio de 2025, de <https://www.youtube.com/watch?v=zLjaBDZ2J2o>
  23. *Informe ENCIENDE*. (2011). COSCE. [https://www.cosce.org/pdf/Informe\\_ENCIENDE.pdf](https://www.cosce.org/pdf/Informe_ENCIENDE.pdf)
  24. INTEF. (s. f.). *ABP MOOC «My digital learning blog»*. Recuperado el 28 de junio de 2025, de <https://franbastida.wordpress.com/abp-intef-mooc/>
  25. Kerkhoven, A. H., Russo, P., Land-Zandstra, A. M., Saxena, A., & Rodenburg, F. J. (2016). Gender stereotypes in science education resources: A visual content analysis. *PLOS ONE*, \*11\*(11), e0165037. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165037>
  26. Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: An arts-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, \*69\*(6), 44-49. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224873>
  27. LOMLOE. (2020). \*Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre\*. BOE-A-2020-17264. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-17264>
  28. Loor, W. A. V., Guamán, M. B. P., Pico, G. A. F., León, M. A. C., & Parra, M. R. M. (2025). El juego como herramienta pedagógica para el aprendizaje



- significativo de las matemáticas. *Boletín Científico Ideas y Voces*, \*5\*(2), 50-72. <https://doi.org/10.60100/bciv.v5i2.212>
29. Maloney, E. A., & Beilock, S. L. (2012). Math anxiety: Who has it, why it develops, and how to guard against it. *Trends in Cognitive Sciences*, \*16\*(8), 404-406. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.06.008>
  30. Manassero-Mas, M.-A., & Vázquez-Alonso, Á. (2019). Conceptualización y taxonomía para estructurar los conocimientos acerca de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, \*16\*(3), 3104. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i3.3104](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3104)
  31. Martí, J., Heydrich, M., Rojas, M., & Hernández, A. (2010). *Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente*. Universidad EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12865>
  32. Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & Vilchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, \*103\*(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
  33. Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2021). *El 84% de las alumnas titula en ESO y el 63% en Bachillerato*. <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/prensa/actualidad/2021/03/050321-igualdadencifras.html>
  34. Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2025). *El abandono educativo temprano marcó en 2024 su mínimo histórico*. <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/prensa/actualidad/2025/01/20250128-abandonoeducativo.html>
  35. Ministerio de Educación y Formación Profesional. (s. f.). *Programa PROA+*. Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/mc/sgctie/cooperacion-territorial/programas-cooperacion/proa.html>
  36. *MiRedEducativo*. (s. f.). Recuperado el 26 de junio de 2025, de <https://mireducativo.org/>
  37. Moreira, M. A. (2017). Aprendizaje significativo como un referente para la organización de la enseñanza. *Archivos de Ciencias de la Educación*, \*11\*(12), 29-44. <https://doi.org/10.24215/23468866E029>
  38. NeuroAula. (2019). *Implementación y articulación del STEAM como proyecto institucional*. <https://neuroaula.net/publicaciones/15-implementacion-y-articulacion-del-steam-como-proyecto-institucional>
  39. NIE. (2023). *\*Enseñanzas no universitarias. Alumnado matriculado. Curso 2023-2024\**. Ministerio de Educación. <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/no-universitaria/alumnado/matriculado/2023-2024-rd.html>
  40. *Nova Ciencia*. (2025, 15 marzo). El porcentaje de universitarios en España es un 6% superior a la media de la UE. <https://novaciencia.es/el-porcentaje-de-universitarios-en-espana-es-un-6-por-ciento-superior-a-la-media-de-la-ue/>



41. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Biological collections: Ensuring critical research and education for the future*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25592>
42. Núñez-Torrón, F. (2019, 28 junio). *¿Qué carreras se estudian más en España? Las ciencias, muy por detrás de las letras*. Computer Hoy. <https://computerhoy.com/noticias/life/carreras-estudian-espana-ciencias-muy-detras-letras-435657>
43. OECD. (2019). *PISA 2018 results (Volume I): What students know and can do*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
44. OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
45. Panasan, M., & Nuangchalem, P. (2010). Learning outcomes of project-based and inquiry-based learning activities. *Journal of Social Sciences*, \*6\*(2), 252-255. <https://doi.org/10.3844/jssp.2010.252.255>
46. *Proyecto Hypatia I: Las mujeres miran hacia las estrellas*. (s. f.). Proyecto ANIHO. Recuperado el 27 de junio de 2025, de <https://aniho.hypotheses.org/3389>
47. Rahman, M. M., & Alam, K. (2022). Effects of corruption, technological innovation, globalisation, and renewable energy on carbon emissions in Asian countries. *Utilities Policy*, \*79\*, 101448. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101448>
48. Restrepo Gómez, B. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, \*8\*, 9-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2040741>
49. Steffens, G., & Cadiat, A. C. (2015). *Los criterios SMART: El método para fijar objetivos con éxito*. 50Minutos.es.
50. Tokuhama-Espinosa, T. (2019). The learning sciences framework in educational leadership. *Frontiers in Education*, \*4\*, 136. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00136>
51. Toma, R. B., & García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, \*39\*(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
52. Tucker, K. C., & Nowlin, S. R. (2001). *An outcomes-based educational/instructional experience for teaching solid rocket propulsion concepts* [Conferencia]. 37th Joint Propulsion Conference and Exhibit. <https://doi.org/10.2514/6.2001-3431>
53. UNESCO. (2015). *UNESCO science report: Towards 2030*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000235406>
54. Vega Bermejo, D., Chamorro Camazón, C., & Reinoso Tapia, R. (2021). *¡Sácame de este planeta!* Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/51020>
55. Wyld, J., & Dierking, L. D. (2015). *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators*. Routledge.
56. Yoshihara, A., Momose, T., Tianwen, Z., Shen, B. T. K., & Nakahara, M. (2016). Utilization of hybrid rocket as an educational material for science classes. En *Proceedings of the Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology* (pp. 284-292). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0373-2\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0373-2_23)

57. 최강찬, 이창준, 문희수, 김재홍, 나희원, & 남민우. (2023). KNSB 추진제 대체제로서 Steam Rocket Propulsion System 의 적합성 검토 [Revisión de idoneidad del sistema de propulsión de cohetes de vapor como sustituto del propelente KNSB]. *Conferencia de la Sociedad Coreana de Propulsión*. <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE11856034>

## 7. ANEXOS

### 7.1 Tipos de cohetes

#### Cohete de agua o de propulsión neumática

Un cohete de agua es un dispositivo experimental que utiliza la expulsión de agua impulsada por aire a presión para generar movimiento, basándose en principios físicos como la acción-reacción. Se construye principalmente con materiales reciclables, como botellas de plástico, y funciona sin combustión, lo que lo convierte en una herramienta educativa accesible y segura, evitando los riesgos asociados a combustibles químicos.

#### Cohetes con reacción química

Los cohetes con reacción química son dispositivos que utilizan una reacción no explosiva entre sustancias comunes para generar gas a presión, el cual actúa como propelente. A diferencia de los cohetes de agua que dependen de aire comprimido, estos sistemas producen su propio gas mediante procesos químicos sencillos, como reacciones ácido-base.

Entre los distintos tipos de cohetes químicos experimentales, el más accesible y popular es el que emplea una reacción ácido-base, obedeciendo al mismo principio químico detrás del arquetípico proyecto científico escolar del volcán de bicarbonato. Este método utiliza componentes domésticos como vinagre (ácido acético) o jugo de limón (ácido cítrico) como ácidos, y bicarbonato de sodio como base. Al mezclarse, estos compuestos reaccionan liberando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), un gas que, al acumularse en un recipiente sellado, genera suficiente presión para impulsar el cohete.

#### Cohetes de propulsión química sólida

Los cohetes de propulsión química sólida son sistemas que utilizan un combustible sólido prensado para generar empuje mediante una reacción de combustión controlada. Estos se pueden diseñar tanto con propelentes seguros y de bajo riesgo, como es la mezcla de nitrato de potasio y azúcar ( $\text{KNO}_3 + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ), o con motores comerciales prefabricados (como los de la marca Estes).

#### Cohetes híbridos

Los cohetes híbridos son sistemas de propulsión que combinan un combustible sólido (como parafina o plástico) con un oxidante o gaseoso (como óxido nitroso [ $\text{N}_2\text{O}$ ] u oxígeno líquido [ $\text{LOX}$ ]). Esta configuración aprovecha las ventajas de ambas tecnologías: la simplicidad y estabilidad de los combustibles sólidos, junto con el mayor control y eficiencia de los oxidantes líquidos.

#### Cohetes de pólvora negra

Los cohetes de pólvora negra son sistemas de propulsión basados en la combustión de este compuesto químico, una mezcla de nitrato de potasio, carbón vegetal y azufre. Fueron los primeros cohetes utilizados con fines ceremoniales y bélicos en la antigua China y más tarde adoptados por los ejércitos europeos en el tardío siglo XIV y XV.

Hoy en día, su uso se limita principalmente a demostraciones históricas, recreaciones o experimentos controlados debido a su peligrosidad y regulaciones legales.

Realmente, la única ventaja comparativa que presentan estos cohetes es la conexión con las competencias claves de índoles histórico-culturales, puesto a que en general la pólvora negra presenta riesgos significativos, como explosiones prematuras, desviaciones descontroladas, y poca precisión balística. En este sentido, quizás sea preferible un vídeo demostrativo.

### Cohetes de vapor

Los cohetes de vapor son sistemas de propulsión que utilizan agua calentada hasta convertirse en vapor para generar presión y producir empuje. A diferencia de los cohetes de agua (que usan aire comprimido), estos aprovechan la expansión del vapor al ser liberado, convirtiendo energía térmica en movimiento.

### Cohetes eléctricos o de plasma

Los cohetes eléctricos o de plasma son sistemas experimentales que utilizan energía eléctrica para ionizar y acelerar partículas como gases nobles o aire, generando empuje sin combustión química. Aunque comúnmente asociados con la tecnología espacial avanzada (como los motores iónicos de los satélites), también existen versiones educativas de baja escala, ideales para demostrar principios de electromagnetismo y física de plasmas.

### Cohetes mecánicos

Los cohetes mecánicos son dispositivos que generan movimiento sin utilizar reacciones químicas, combustión, ni expansión de gases. En su lugar, emplean principios mecánicos, elásticos o neumáticos para almacenar y liberar energía. Por lo tanto, si bien son idóneos para la parte de Física de la asignatura, no permiten el estudio conjunto con la Química, pues esta dimensión está enteramente ausente en este modelo experimental.

La mayoría de los modelos mecánicos son altamente reutilizables, ideales para prácticas repetidas y demostraciones controladas que permiten acercar los contenidos físicos a alumnos con dificultades matemáticas. Son ideales para entornos educativos o demostraciones donde se busca evitar el uso de reactivos peligrosos o fuentes de calor, por lo que se encuentran entre los más seguros.

Existe una infinidad de subcategorías, que a continuación enumeraremos brevemente:

1. Cohetes de Resorte (Energía elástica)
  - a. Estos cohetes funcionan gracias a la energía elástica almacenada en un resorte comprimido o una banda elástica tensada. Al liberar repentinamente esta tensión, la energía se convierte en energía cinética que impulsa el cohete hacia adelante. El principio físico involucrado está directamente relacionado con la Ley de Hooke, y son ideales para enseñar conceptos como conservación de energía mecánica, fuerzas elásticas, y dinámica del movimiento.
  - b. Ejemplos típicos incluyen pequeños cohetes de plástico o cartón montados sobre lanzadores con resortes internos, muy comunes como juguetes

educativos. Otras alternativas son catapultas y/o ballestas como plataformas de lanzamiento, aprovechando la elasticidad de bandas de goma. Estos son completamente seguros, más allá de los riesgos inherentes a los lanzamientos de objetos: no involucran gases, combustibles, ni electricidad, y sus posibles accidentes tienen un área de efecto sumamente limitada.

2. Cohetes neumáticos (Aire comprimido sin agua)

a. Los cohetes neumáticos emplean aire comprimido como fuente de energía. Este aire se acumula en un recipiente sellado y, al abrir una válvula, se libera de forma controlada, generando una presión que impulsa el cohete sin necesidad de ningún tipo de combustión o reacción química. Son útiles para explorar conceptos de termodinámica básica, como la relación entre presión, volumen y temperatura.

b. Un ejemplo clásico es el uso de tubos de PVC con válvulas de liberación rápida que funcionan como lanzadores. También se pueden adaptar sistemas de aire comprimido, similares a pistolas neumáticas, para lanzar cohetes ligeros fabricados con materiales inofensivos como papel, espuma o cartón.

3. Cohetes de contrapeso o catapulta

a. Este tipo de cohetes no se propulsa con ningún tipo de energía interna, sino que se lanza mediante un sistema mecánico que transmite una fuerza externa. En estos sistemas, al liberar el contrapeso o tensar un brazo, se transfiere energía potencial gravitatoria o mecánica al cohete, que se convierte en energía cinética al ser lanzado. Permiten el estudio del movimiento parabólico y la influencia del ángulo de lanzamiento en la distancia recorrida.

b. Los dispositivos más comunes son los brazo-móviles tipo catapulta, honda, o trebuchet en miniatura, utilizando un contrapeso y la acción de un brazo giratorio para lanzar el cohete. Las dimensiones mecánicas e históricas de estos dispositivos los convierten en proyectos perfectos para realizarse de forma conjunta con los departamentos de tecnología, robótica, e historia, al conectar con la comprensión de palancas, poleas y cinemática (tecnología) y de la antigüedad y edad media (historia) a lo largo de los cursos de la ESO.

4. Cohetes de Volante de Inercia (energía cinética almacenada)

a. Estos cohetes emplean un principio menos convencional pero muy didáctico: el almacenamiento de energía cinética en un volante de inercia, que es un disco o masa giratoria. Al hacer girar rápidamente este disco y liberarlo en un eje móvil, la energía de rotación se transfiere al cuerpo del cohete, generando movimiento. Introducen conceptos avanzados del momentum angular y energía rotacional, adelantando contenido en el que se van a sumergir en gran profundidad durante el Bachillerato, por no mencionar la formación universitaria de muchas ingenierías.

b. Ejemplos simples de este tipo pueden encontrarse en juguetes que contienen ruegas giratorias o mecanismos de cuerda, los cuales “disparan” al

soltar la energía almacenada en el giro. También existen prototipos experimentales más avanzados utilizados en demostraciones científicas.

Por supuesto, existen muchos más tipos de cohetes que se pueden llevar a cabo, pero con la revisión hasta aquí efectuada será suficiente para contextualizarnos en la amplia gama de posibilidades y alternativas que tendremos a nuestra disposición al momento de elaborar.

## 7.2 Rubrica evaluación del CEP

Dimensión	Criterio a evaluar	Preguntas de reflexión	Valoración	Evidencias y/o comentarios
<b>Resultados de aprendizaje</b>	Logro de objetivos curriculares	¿La mayoría del alumnado alcanza los resultados esperados? ¿Se evidencia un aprendizaje significativo?		
<b>Participación y motivación</b>	Compromiso del estudiantado	¿El alumnado participa activamente en clase? ¿Se nota interés o entusiasmo por aprender?		
<b>Evaluación del aprendizaje</b>	Calidad e impacto de la evaluación	¿Los resultados de las evaluaciones reflejan un aprendizaje significativo y profundo? ¿La evaluación que se está llevando a cabo se corresponde con las aptitudes de los estudiantes? ¿La evaluación permite identificar fortalezas y debilidades?		
<b>Contexto actual del aula</b>	Condiciones del grupo o del entorno	¿Se han aplicado nuevas normativas legislativas en el centro? ¿Ha ocurrido un cambio abrupto en la población en el aula?		
<b>Atención a la diversidad</b>	Inclusión de diferentes estilos y ritmos de aprendizaje	¿La metodología vigente permite adaptar la enseñanza a diferentes necesidades individuales?		
<b>Equidad e inclusión</b>	Acceso y participación justa	¿Se promueve un aprendizaje inclusivo para estudiantes con barreras o		

		desventajas educativas?		
<b>Disponibilidad de recursos</b>	Acceso a recursos (TIC, materiales, tiempo)	¿Tenemos acceso a recursos educativos? ¿Se adaptan nuestros recursos a la situación actual?		
<b>Buen uso de recursos y tecnologías</b>	Eficiencia y aprovechamiento de los recursos disponibles	¿Se utilizan bien los recursos disponibles? ¿Tienen un impacto significativo en el aprendizaje?		
<b>Retroalimentación continua</b>	Mejora mediante el diálogo	¿Se da retroalimentación frecuente y útil al alumnado? ¿El alumnado ofrece retroalimentación al docente?		
<b>Pertinencia metodológica para con el contexto educativo</b>	Pertinencia metodológica	¿La metodología propuesta es coherente con las características del grupo, entorno y momento actual?		
<b>Actualización docente</b>	Formación y actualización	¿Estoy al tanto de nuevas metodologías que podrían mejorar el aprendizaje en mi aula? ¿Estoy utilizando prácticas metodológicas actuales? ¿Me formo o colaboro con otros docentes para mejorar?		
<b>Satisfacción y bienestar docente</b>	Percepción individual	¿Me siento seguro, motivado y/o satisfecho con la aplicación de esta metodología?		

### 7.3 Rubrica sobre la reflexión del tema

Dimensión	Pregunta orientadora	Valoración	Evidencias y/o comentarios
-----------	----------------------	------------	----------------------------



<b>1. Objetivos de aprendizaje</b>	¿Se alinean los objetivos del proyecto con los conceptos físicos clave que quiero que los estudiantes comprendan? (EJ: conservación de momentum, energía, impulso, aerodinámica, etc)		
	¿La práctica refuerza los temas teóricos vistos en clase?		
	¿Es adecuada para el nivel académico real de mis estudiantes?		
<b>2. Viabilidad técnica y recursos</b>	¿Disponemos de los materiales y equipos necesarios para realizar el proyecto con cohetes?		
	¿Puede realizarse dentro del tiempo disponible y con el espacio adecuado?		
	¿El costo del proyecto es razonable y sostenible?		
<b>3. Seguridad</b>	¿La actividad es segura para los estudiantes?		
	¿Se pueden implementar medidas de prevención y supervisión adecuadas?		
<b>4. Interés y motivación</b>	¿El proyecto motiva y genera interés en los estudiantes?		
<b>5. Comparación con prácticas alternativas</b>	¿Existen y/o conozco prácticas alternativas que aborden los mismos conceptos con mayor facilidad o seguridad?		
	¿Otras prácticas pueden ser más pertinentes para el contexto o los recursos disponibles?		
	¿Considero que este proyecto podría captar mejor la atención que otras prácticas?		
<b>6. Adaptabilidad y</b>	¿Es posible adaptar el		

<b>flexibilidad</b>	proyecto o las prácticas alternativas para responder a imprevistos o limitaciones?		
---------------------	------------------------------------------------------------------------------------	--	--

#### 7.4 Guía para comenzar a diseñar un Proyecto ABP

Esta rúbrica está diseñada como una herramienta de trabajo para que el docente pueda reflexionar, ajustar y estructurar paso a paso un proyecto ABP, desde la elección del tema hasta la organización del grupo y la planificación del tiempo.

##### PASO 1: DEFINICIÓN DEL TEMA

***¿Qué tema quiero trabajar con el alumnado? El tema debe ser motivador, cercano a su realidad, y permitir la integración de varias materias. Debe dar pie a investigar, crear y aplicar conocimientos significativos.***

Nivel	Descripción del nivel	Preguntas para mejorar
Inicial	Tema elegido sin conexión con la realidad del alumnado o demasiado abstracto.	¿Este tema les importa o les resulta familiar? ¿Puedo conectarlo con noticias, TikTok, películas, videojuegos, algo cercano?
Mejorable	El tema es interesante pero poco contextualizado o limitado a una sola materia.	¿Puedo combinarlo con otras áreas (arte, ética, economía)? ¿Y si uso un ejemplo real?
Pertinente	El tema se relaciona con la vida real del alumnado y permite la integración de saberes (STEAM).	¿Puedo darle un giro narrativo para que parezca una misión real? ¿Qué pasaría si estuvieran compitiendo por una beca lunar?

- ¿Qué tema inicial tengo en mente?
- ¿Por qué creo que puede motivar a mi alumnado?
- ¿Cómo puedo conectarlo con su entorno (actualidad, cultura, redes sociales, intereses)?
- ¿Qué áreas del currículo puedo integrar (STEAM, lengua, arte, ética...)?

##### PASO 2: FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA GUÍA

Una buena pregunta guía es abierta, desafiante y realista. Estimula la investigación, no tiene una única respuesta correcta y debe poder contestarse con un producto, una propuesta o una solución creativa.

Nivel	Descripción del nivel	Preguntas para mejorar
Técnica	La pregunta es muy cerrada o parece de examen: "¿Qué es una reacción química?"	¿Cómo puedo convertir esto en un reto? ¿Qué tienen que resolver?
Guiada	La pregunta permite algo de exploración pero ya sugiere cómo hacerlo.	¿Puedo dejar espacio a que decidan cómo resolverlo? ¿Incluyo un "cómo podríamos" para abrir la pregunta?
Holística y motivadora	La pregunta es abierta, retadora, permite muchas soluciones y activa creatividad.	¿Despierta curiosidad? ¿Tiene un objetivo claro, realista y estimulante? ¿Se conecta con sus intereses?

- ¿Qué pregunta tengo en mente ahora mismo?

- ¿Es suficientemente abierta y desafiante?
- ¿Cómo puedo contextualizarla para hacerla más realista?
- ¿Puedo plantearla como un problema a resolver desde diferentes ángulos (científico, artístico, social...)?

### PASO 3: ORGANIZACIÓN DE LOS GRUPOS

Los grupos deben ser equilibrados y funcionales. Pueden ser pequeños (3–4 personas) o más grandes, con subgrupos por funciones (investigación, construcción, comunicación, etc.).

Nivel	Descripción del nivel	Preguntas para mejorar
No definido	No hay estructura, cada quien trabaja como puede o todos juntos sin orden.	¿Quiero fomentar colaboración o cooperación? ¿Heterogéneos o afines? ¿Cuántos alumnos es manejable?
Parcial	Hay grupos pero sin roles definidos o sin relación con los objetivos del proyecto.	¿Pueden dividir tareas según fortalezas? ¿Hay un grupo de marketing, otro de construcción?
Planificado y funcional	Grupos de 3–4 alumnos, con roles asignados (o adaptados si son grupos grandes), alineados con objetivos.	¿Cómo potencio lo artístico, lo técnico y lo comunicativo? ¿Puedo integrar subgrupos dentro del gran proyecto?

- ¿Cómo voy a formar los grupos (aleatorios, heterogéneos, elección libre...)?
- ¿Qué número de alumnos por grupo es viable en mi contexto?
- ¿Qué roles o funciones puede tener cada grupo o subgrupo (técnico, marketing, diseño, pruebas...)?
- ¿Cómo aseguraré que todos participen activamente?

### PASO 4: TEMPORALIZACIÓN Y ADAPTACIÓN

El tiempo disponible condiciona el tipo de proyecto. ¿Lo haré en pocas sesiones, en una semana temática o como proyecto de trimestre? ¿Qué contenidos o fases puedo integrar o sacrificar?

Nivel	Descripción del nivel	Preguntas para mejorar
No previsto	No hay una planificación clara de sesiones ni de fases.	¿Qué parte puedo sacrificar si tengo poco tiempo? ¿Puedo hacerlo en los “tiempos muertos”?
Ajustado	Se ha pensado en el tiempo pero de forma muy justa o rígida.	¿Puedo ampliar o recortar? ¿Y si lo hago en dos semanas con teoría entre medias?
Flexible y escalable	Se adapta según el tiempo disponible: desde 2 sesiones hasta un trimestre. Se integra con el currículo.	¿Puedo integrarlo como evaluación de unidad? ¿O como proyecto final de etapa con más libertad?

- ¿Cuánto tiempo real tengo para trabajar este proyecto?
- ¿Qué parte del currículo puedo integrar en este proyecto?
- ¿Qué versión mínima puedo realizar si el tiempo es escaso? ¿Y cuál sería la versión ideal?
- ¿Puedo aprovechar tiempos muertos del curso o final de trimestre para implementarlo?

#### PASO 5: Conclusión

Una vez respondidas estas preguntas se debería poder completar fácilmente la siguiente tabla, que nos guiara en el resto del proyecto

Factor	Conclusión
Tema	
Pregunta	
Grupos	
Tiempo	

## 7.5 Rúbrica objetivos SMART en un proyecto ABP STEAM

### Objetivo a evaluar:

(Escribir aquí el objetivo tal como fue redactado)

### Rubrica a completar

Escala de valoración:

1 = Muy insuficiente | 2 = Insuficiente / vago | 3 = Aceptable pero mejorable | 4 = Bien logrado | 5 = Excelente / claramente definido

CRITERIO SMART	SUBDIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN PRECISA	PREGUNTAS GUÍA	PUNTAJE (1-5)	COMENTARIOS / EVIDENCIAS
S – Específico	Claridad conceptual	El objetivo está enfocado en una meta concreta y comprensible.	¿Qué se quiere lograr exactamente?		
S – Específico	Enfoque didáctico	Está alineado con una o más áreas STEAM.	¿El objetivo nombra o implica directamente los saberes científicos o técnicos a trabajar?		
M – Medible	Evaluación objetiva	Se puede comprobar si el objetivo se logró o no, a través de criterios o instrumentos.	¿Hay un producto final, desempeño observable o instrumento de evaluación definido?		
M – Medible	Evidencias	Las evidencias están previstas: portafolio, prototipo, presentación, etc.	¿Previsiblemente qué datos recogerás para saber que el objetivo se alcanzó?		
A – Alcanzable	Realismo pedagógico	El objetivo es viable en función de los recursos, conocimientos previos y tiempo.	¿Está el alumnado preparado para lograr esto? ¿Dispones de los recursos necesarios?		
A – Alcanzable	Inclusividad	Considera la diversidad del grupo (necesidades, estilos de aprendizaje, ritmo).	¿Todos los estudiantes pueden participar en igualdad de condiciones?		
R – Relevante	Pertinencia curricular	Está conectado con el currículo oficial y las competencias clave.	¿Responde a un estándar curricular o a una necesidad		

			educativa auténtica?		
R – Relevante	Sentido social y STEAM	Se relaciona con un problema real, social o científico.	¿Tiene relación con el mundo real, la sostenibilidad, o desafíos actuales?		
T – Temporal	Tiempo definido	Incluye un plazo concreto para su desarrollo y evaluación.	¿Se establece duración del proyecto o etapas con tiempos asignados?		
T – Temporal	Secuenciación interna	Hay planificación por fases (investigación, diseño, prueba, etc.).	¿El objetivo prevé una progresión organizada del trabajo?		

#### Valoración final global

Puntaje total posible: 50 puntos

Puntaje obtenido: \_\_\_\_\_ / 50

#### RANGO: SIGNIFICADO

45–50 puntos: Objetivo muy sólido. Altamente alineado con ABP y enfoque STEAM. Implementación recomendada.

36–44 puntos: Buen objetivo, con aspectos mejorables. Revisión parcial sugerida.

26–35 puntos: Objetivo parcialmente alineado. Requiere rediseño moderado.

0–25 puntos: Objetivo poco claro o inaplicable. Rediseño completo necesario.

#### Reflexión final del docente

1. ¿Qué ajustes harías al objetivo después de esta evaluación?

---

2. ¿Cómo aseguras que la evaluación del objetivo se alinea con los productos esperados del proyecto?

---

3. ¿Qué dimensiones STEAM están mejor representadas y cuáles podrían potenciarse?

---

4. ¿Este objetivo favorece el aprendizaje profundo o solo superficial? ¿Por qué?

---

## 7.6 Rúbrica ejemplo: Búsqueda y Selección de Información Fiable

Esta rúbrica está diseñada para ser completada por el alumnado en una única sesión de 15 a 30 minutos. Su objetivo es facilitar una reflexión estructurada sobre las decisiones iniciales del proyecto, fomentando la autonomía, la argumentación y la capacidad de seleccionar información relevante y fiable. Incluye comentarios docentes para ayudar en su adaptación.

Pregunta	Respuesta del alumno/a	Comentario del docente (para adaptar)
¿Cuál es la idea principal de vuestro proyecto?		Fomenta la claridad de ideas y establece el punto de partida del diseño.
¿Qué problema real intenta resolver?		Conecta el proyecto con un contexto significativo, clave en ABP.
¿Qué información habéis buscado para inspiraros o fundamentar vuestra propuesta?		Entrena la búsqueda consciente y el contraste de fuentes.
¿Dónde habéis buscado esta información? ¿Es fiable?		Introduce el criterio de fiabilidad de fuentes, esencial en alfabetización informacional.
¿Qué hipótesis tenéis sobre cómo funcionará vuestro diseño?		Permite desarrollar pensamiento científico y predictivo.
¿Por qué habéis decidido seguir este enfoque y no otro?		Fomenta la argumentación y la toma de decisiones justificadas.
¿Qué dificultades prevés y cómo planeas resolverlas?		Anticipa retos, promueve la planificación y la resiliencia.



### 7.7 Rúbricas para la Evaluación del Proyecto de Cohetes

Estas rúbricas están diseñadas para acompañar al profesorado en la evaluación del Proyecto de Cohetes en tres fases: inicial, desarrollo y final. Cada rúbrica incluye indicadores claros con preguntas guía de respuesta simple para facilitar la observación durante el trabajo práctico en el aula. Son aplicables en contextos diversos, promoviendo un enfoque formativo, riguroso y sostenible.

#### **RÚBRICA FASE INICIAL – Diseño y Planificación**

Indicador	Pregunta guía	Valoración (Sí / Parcial / No / N/A)
Claridad del diseño técnico	¿El boceto del cohete es claro, proporcional y comprensible?	
Coherencia científica del diseño	¿Han incorporado principios básicos de física o química en el diseño?	
Previsión de materiales y herramientas	¿Incluyen materiales viables y accesibles en su planificación?	
Distribución de roles dentro del equipo	¿Todos los miembros tienen un rol definido y realista?	
Gestión del tiempo prevista	¿Existe una planificación temporal lógica con tareas distribuidas?	
Viabilidad del diseño	¿El diseño es realizable con los recursos y tiempo disponibles?	
Uso inicial de lenguaje técnico	¿Usan vocabulario adecuado para explicar su propuesta?	

#### **RÚBRICA FASE DE DESARROLLO – Seguimiento del Proceso**

Indicador	Pregunta guía	Valoración (Sí / Parcial / No / N/A)
Registro de avances en el portafolio	¿Documentan su trabajo regularmente (texto, fotos, reflexiones)?	
Razonamiento en las decisiones técnicas	¿Justifican sus elecciones y ajustes con lógica y evidencia?	
Aplicación de conceptos científicos	¿Se identifican fundamentos científicos o matemáticos en la práctica?	

Participación equitativa	¿Todos los integrantes intervienen activamente según su rol?	
Uso de coevaluaciones semanales	¿El grupo reflexiona con honestidad sobre su funcionamiento interno?	
Resolución de problemas	¿Resuelven dificultades mediante diálogo, pruebas o búsqueda de soluciones propias?	
Adaptabilidad y mejora	¿Corrigen errores o mejoran a partir de observaciones y pruebas?	

### **RÚBRICA FASE FINAL – Producto, Informe y Reflexión**

Indicador	Pregunta guía	Valoración (Sí / Parcial / No / N/A)
Preparación y ejecución del lanzamiento	¿El grupo lanza el cohete en condiciones seguras y con buena preparación?	
Comportamiento técnico del cohete	¿El vuelo fue estable o se analizaron correctamente los fallos?	
Originalidad técnica	¿Incluye soluciones propias como sistema de recuperación, diseño o estructura?	
Diseño estético-funcional	¿El diseño visual es atractivo sin comprometer la aerodinámica?	
Calidad del informe técnico-artístico	¿El informe está bien redactado, con datos, análisis y coherencia visual?	
Análisis crítico del resultado	¿Detectan causas reales de los errores y lo expresan con argumentos?	
Propuestas de mejora	¿El grupo plantea soluciones basadas en pruebas o análisis?	

## 7.8 Gestión del Aula y Seguridad en Proyectos de Cohetes

La gestión efectiva del aula es vital para mantener a los estudiantes enfocados y en la tarea. Esto se logra estableciendo expectativas claras, realizando revisiones periódicas y utilizando el refuerzo positivo. Dada la naturaleza práctica de los proyectos de cohetes, la seguridad es una consideración primordial.

Las **directrices de seguridad** deben ser estrictamente observadas durante todas las fases, especialmente durante los lanzamientos:

- **Supervisión Adulta:** Todas las actividades, en particular los lanzamientos, deben llevarse a cabo bajo la supervisión directa de un adulto.
- **Protección Ocular:** Es imperativo que todos los participantes utilicen gafas de seguridad durante el lanzamiento para prevenir lesiones oculares.
- **Área de Lanzamiento Despejada:** Los cohetes deben lanzarse en un espacio abierto, claramente identificado y completamente despejado de personas, edificios, automóviles, árboles, carreteras y cables de alta tensión.
- **Distancia de Seguridad:** Nadie debe lanzar cohetes en dirección a otras personas. Todos deben mantenerse por detrás del punto de lanzamiento.
- **Manejo de Fallos:** En caso de que un lanzamiento falle, no se debe inclinar sobre el cohete, ya que podría despegar de forma imprevista en cualquier momento.
- **Equipos de Lanzamiento Seguros:** Utilizar únicamente dispositivos de lanzamiento eléctricos que vengan con el riel y la plataforma de lanzamiento. No intentar usar fusibles o fósforos. Asegurarse de que la llave de seguridad se retire al conectar los clips a los cables de los encendedores y que nadie esté "jugando" con el lanzador. La plataforma debe estar anclada de forma segura.
- **Materiales del Cohete:** Para la construcción del cohete, se deben usar solo tubos de cartón y aletas/narices de balsa o plástico. No se deben emplear partes metálicas.
- **Combustible:** Nunca intentar reutilizar o rellenar un motor de cohete sólido gastado, ni "preparar" combustible casero, ya que esto es extremadamente peligroso.
- **Condiciones Climáticas:** No volar cohetes en condiciones de viento fuerte o clima amenazante.
- **Comunicación:** Realizar una cuenta regresiva clara antes del lanzamiento para alertar a todos en el área.

Al seguir estas pautas, los proyectos de cohetes pueden ser tan seguros como cualquier otra actividad educativa, fomentando la curiosidad y el aprendizaje práctico en un entorno controlado.

## 7.9 Rúbrica de Evaluación de la Actuación Docente en Proyectos ABP-STEAM

Esta rúbrica permite valorar el desempeño del profesorado durante la implementación del proyecto ABP-STEAM, La escala empleada es de tipo Likert (1 = Muy en desacuerdo, 5 = Muy de acuerdo).

Dimensión / Ítem	1	2	3	4	5
Claridad expositiva y contextualización inicial del proyecto El profesor explicó de forma clara y comprensible el propósito general del proyecto.					
Comprendí desde el principio qué se esperaba de mí y cuál era mi rol dentro del proyecto.					
La conexión entre el proyecto y los contenidos de Física y Química fue evidente desde el inicio.					
Acompañamiento y orientación durante el proceso El profesor actuó como guía, facilitando la toma de decisiones sin imponer soluciones.					
Sentí que podía acudir al profesor para resolver dudas o dificultades técnicas.					
El docente fomentó la autonomía, pero estuvo presente en momentos clave del proceso.					
Calidad de la retroalimentación Recibí sugerencias constructivas que me ayudaron a mejorar mis ideas o mi diseño.					
La retroalimentación se centró tanto en lo que hice bien como en lo que podía mejorar.					
El profesor valoró el esfuerzo y el proceso, no solo el resultado final.					
Generación de un clima de aprendizaje El profesor promovió un ambiente de respeto, colaboración y creatividad.					

Me sentí motivado/a a participar activamente y a compartir mis ideas con mis compañeros/as.					
El docente fomentó la participación de todo el grupo, respetando diferentes ritmos y estilos.					
Promoción de la reflexión y el pensamiento crítico Se nos animó a reflexionar sobre nuestros errores y aprendizajes.					
Hubo espacios para compartir cómo resolvimos problemas y qué decisiones tomamos.					
El profesor planteó preguntas que nos hicieron pensar más allá de la actividad práctica.					