



**MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE
EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA,
BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL Y
ENSEÑANZAS DE IDIOMAS**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CURSO 2024-2025

**LA IMPORTANCIA DE LA EXPERIMENTACIÓN
EN EL AULA Y SU VINCULACIÓN CON EL
MUNDO ACTUAL**

**THE IMPORTANCE OF EXPERIMENTATION IN
CLASSROOM AND ITS LINK TO TODAY'S WORLD**

ESPECIALIDAD: Física y Química

APELLIDOS Y NOMBRE: Eva Cerrón Cribeiro

CONVOCATORIA: JUNIO

CURSO: 2024/2025

TUTORA: Inmaculada Álvarez Serrano
Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Químicas

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1. Planteamiento del problema y justificación.....	3
2. Fundamentación teórica y estado de la cuestión.....	5
2.1. Dificultades en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.....	5
2.2. Innovación didáctica y conexión con la actualidad	7
2.2.1. Nanotecnología.....	9
2.2.2. Tierras raras	9
2.2.3. Contaminación atmosférica.....	12
2.2.4. Efectos migratorios	13
3. Objetivos del TFM	14
4. Metodología del TFM.....	15
4.1. Sujetos y características de la muestra	15
4.2. Propuesta didáctica	16
4.3. Actividades propuestas	17
4.3.1. Síntesis de hierro pirofórico ligado con nanotecnología	17
4.3.2. Magnetismo ligado con tierras raras	18
4.3.3. Tensión superficial ligada con efectos migratorios	18
4.3.4. Simulación de lluvia ácida ligada con contaminación atmosférica	19
5. Resultados y discusión	20
5.1. Actividad 1: Nanotecnología.....	20
5.1.1. Guion y desarrollo de la práctica “Síntesis de hierro pirofórico”.....	20
5.1.2. Vinculación didáctica con la nanotecnología.....	22
5.2. Actividad 2: Tierras raras.....	24
5.2.1. Guion y desarrollo de la práctica “Propiedades magnéticas del neodimio”	24
5.2.2. Vinculación didáctica con las tierras raras	25
5.3. Actividad 3: Efectos migratorios	26
5.3.1. Guion y desarrollo de la práctica “Tensión superficial”	26
5.3.2. Vinculación directa con los efectos migratorios.....	29
5.4. Actividad 4: Lluvia ácida.....	29
5.4.1. Guion y desarrollo de la práctica “Simulación de la lluvia ácida.....	29
5.4.2. Vinculación didáctica con la contaminación atmosférica	32
5.5. Cuestionario de valoración global de la propuesta didáctica	32
5.6. Relación de los resultados obtenidos con la profesión docente.....	42
5.7. Limitaciones del estudio.....	42
5.8. Futuras líneas de trabajo	43
6. Conclusiones.....	44
7. Referencias bibliográficas.....	45
8. Anexos	51

RESUMEN

En un mundo dominado por los avances tecnológicos y las problemáticas sociales que esto conlleva, se vuelve necesario implementar actividades en el aula que vinculen los contenidos teóricos con la realidad observable del alumnado. Además, numerosas investigaciones ponen de manifiesto que la implementación de metodologías activas fomenta el aprendizaje significativo y contribuyen a mejorar la motivación del alumnado en el aula. Por estos motivos, en este Trabajo Fin de Máster, se pretende demostrar que la experimentación científica en el aula tiene un impacto positivo en la motivación y la visión de la ciencia del alumnado, así como en la adquisición de conocimientos científicos relacionados con el currículo de “Física y Química”. Para ello, se ha llevado a cabo una intervención didáctica en la que un grupo de estudiantes de “Proyecto de Física y Química” de 4º de ESO ha participado de forma activa en una serie de experimentos relacionados directamente con cuatro temas muy mencionados en la actualidad: nanotecnología, tierras raras, efectos migratorios y contaminación atmosférica. Con el fin de evaluar el impacto de esta propuesta, se utilizó un cuestionario de ideas previas, que fue entregado a los estudiantes antes y después del desarrollo experimental. Los resultados obtenidos al comparar ambos test muestran una mejora significativa en cuanto a conocimientos adquiridos y en cuanto a la actitud del alumnado hacia la ciencia.

DESCRIPTORES

Alfabetización científica, nanotecnología, tierras raras, efectos migratorios, contaminación atmosférica.

ABSTRACT

In a world dominated by technological advances and the social problems that this entails, it becomes necessary to implement classroom activities that link theoretical content with the observable reality of the students. In addition, numerous researches show that the implementation of active methodologies promotes meaningful learning and contributes to improve students' motivation. For these reasons, this Master's Thesis aims to demonstrate that scientific experimentation in the classroom has a positive impact on students' motivation and vision of science, as well as on the acquisition of scientific knowledge related to the "Physics and Chemistry" curriculum. For this purpose, a didactic intervention has been carried out, in which a group of students of "Physics and Chemistry Project" of 4th ESO have actively participated in a series of experiments directly related to four topics very much mentioned nowadays: nanotechnology, rare earths, migratory effects and air pollution. In order to evaluate the impact of this proposal, a preconception questionnaire was used, which was given to the students before and after the experimental development. The results obtained when comparing both tests show a significant improvement in terms of knowledge acquired and in terms of the students' attitude towards science.

KEYWORDS

Scientific literacy, nanotechnology, rare earths, migratory effects, air pollution.

1. Planteamiento del problema y justificación

La dificultad de la enseñanza de las ciencias en Educación Secundaria Obligatoria (ESO) radica fundamentalmente en que el alumnado pueda comprender conceptos a menudo complicados, debido a su escasa motivación e interés por las materias científicas (Zamora Olivos et al., 2023). Surge así la necesidad de innovar en la práctica docente mediante metodologías que acerquen el conocimiento científico al alumnado desde su experiencia personal y social.

La innovación en la enseñanza de las ciencias implica renovar metodologías, así como usar recursos que respondan a las demandas del siglo XXI. Esto incluye nuevas estrategias de aprendizaje y su aplicación desde un enfoque interdisciplinar. Incluir temas que son relevantes tanto en el ámbito científico como en el social dentro del aula ayuda a que los contenidos tengan más sentido para los estudiantes y fomenta el desarrollo de habilidades cognitivas y de comunicación del alumnado (García-Martínez & Pinilla, 2007).

Por otro lado, numerosos estudios indican que la manera en que los docentes entienden la ciencia determina su forma de enseñar. Por lo general, la metodología empleada por los docentes a través de las prácticas experimentales suele mostrar la ciencia como algo objetivo, acabado y alejado de la cotidianidad (Rua & Alzate, 2012).

A lo anterior se añaden los factores señalados por Silva Mesias et al. (2023), quienes sostienen que uno de los grandes problemas en la enseñanza de esta disciplina radica en la escasez de estrategias pedagógicas adecuadas y en la falta de inversión en infraestructuras y recursos didácticos. Además, señalan que las prácticas de laboratorio en los centros docentes suelen caracterizarse por un protagonismo excesivo del profesorado, y una escasa implicación del alumnado. Todo ello influye en que no se consiga un aprendizaje significativo y un acercamiento real a la ciencia. De esta forma, la experimentación, entendida como un medio para la observación, manipulación y reflexión, es todavía poco utilizada pese a su importancia en la adquisición de conocimientos.

Asimismo, la enseñanza de las ciencias resulta esencial para que los estudiantes comprendan la naturaleza, los fenómenos que los rodean y el mundo en el que viven (Sosa & Dávila, 2019). Sin embargo, estos autores señalan que una causa importante del desinterés estudiantil es la falta de una auténtica educación científica, entendida como un proceso en el que los alumnos aprenden a indagar, formular hipótesis, experimentar y sacar sus propias conclusiones. De igual forma, Osorio Herrera (2022) sostiene que la falta de experimentación hace poco efectiva la enseñanza de la ciencia en el aula, dado que impide

la observación y análisis de los fenómenos estudiados de forma directa, lo que se traduce en falta de comprensión profunda de la materia. Esto refuerza la necesidad de incluir la experimentación como eje central en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

El presente Trabajo de Fin de Máster, en adelante TFM, se enmarca en este objetivo general. De esta manera se pretende fomentar el pensamiento crítico, así como aumentar el interés y la motivación del alumnado por la ciencia (Molina-Ruiz & González-García, 2021). Para ello, se desarrollará una propuesta educativa basada en la realización de experimentos de física y química ligados a temas de actualidad con alumnado de 4º de ESO.

Durante mi periodo de prácticas en el IES Emperatriz María de Austria, observé una desconexión entre los contenidos impartidos en la asignatura de “Física y Química”, y los intereses o conocimientos previos del alumnado. La mayoría de las sesiones de la asignatura se desarrollaban bajo un modelo de enseñanza transmisivo, es decir, centrado en la exposición de la materia por parte del docente y en la resolución de ejercicios en el cuaderno. Las actividades prácticas consistían en el uso de simulaciones digitales o en el visionado de vídeos, en parte debido a la falta de recursos materiales, pero también por una planificación curricular que no prioriza el trabajo experimental en el aula. Este enfoque dificulta la comprensión de fenómenos abstractos, que necesitan ser observados y discutidos para ser realmente comprendidos (Gil Pérez et al., 1999; Sosa & Dávila, 2019). Muchos estudiantes no encontraban utilidad ni sentido a lo que aprendían en el aula, lo que repercute negativamente en su rendimiento académico y, sobre todo, en su actitud hacia la ciencia. Esta situación ha sido también recogida en numerosas investigaciones donde se evidencia el desinterés de los estudiantes hacia la química, así como su escasa participación en la construcción del conocimiento.

Ante esta situación, se diseñó una intervención didáctica en la que se integran contenidos científicos relacionados con temáticas actuales, como la nanotecnología, las tierras raras, los efectos migratorios y la contaminación atmosférica. Cada uno de estos temas fue tratado a través de experiencias prácticas y debates orientados a promover la reflexión crítica sobre el mundo que nos rodea. La propuesta también responde a la necesidad de trabajar la educación científica desde una dimensión ética y social, relacionada con los planteamientos actuales de la didáctica de las ciencias (Vázquez, & Manassero, 2008). En lugar de centrarnos exclusivamente en la transmisión de contenidos teóricos, se ha buscado generar situaciones de aprendizaje en las que el alumnado pueda experimentar, investigar y debatir

fenómenos científicos con repercusión directa en su vida cotidiana. Tal como señalan otros expertos, esta estrategia no solo mejora su comprensión, sino que favorece la formación de una ciudadanía crítica, informada y comprometida con el entorno (Quiroz-Londoño, 2020).

2. Fundamentación teórica y estado de la cuestión

2.1. Dificultades en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias

Varios estudios recientes evidencian un descenso en la actitud positiva hacia la ciencia de los estudiantes, especialmente en el paso de Educación Primaria a Secundaria y concretamente en asignaturas como “Física y Química” (Vázquez & Manassero, 2008, Montserrat Jover et al., 2025). Este hecho, que afecta sobre todo a las alumnas, se asocia con una percepción de la ciencia como difícil, poco relevante y alejada de la vida cotidiana, lo que influye de forma negativa en la elección de estudios y vocaciones científicas. Los autores resaltan la importancia de abordar este problema desde la didáctica de las ciencias, incorporando estrategias que favorezcan la motivación, la participación activa, así como la conexión de los contenidos con situaciones observables en el día a día (Sanmartí Puig & Márquez Bagalló, 2017).

La enseñanza de las ciencias en la ESO ha sido objeto de múltiples estudios e investigaciones, fundamentalmente por las dificultades que presenta en cuanto a la comprensión de conceptos, la motivación del alumnado y el desarrollo de competencias científicas (Romero & Quesada, 2014; Sosa & Dávila, 2019). En este sentido, una de las líneas más destacadas es la que apuesta por la incorporación de la experimentación como pilar fundamental para alcanzar un aprendizaje significativo (Quiroz-Londoño, 2020; Molina-Ruiz & González-García, 2021).

De esta forma, la motivación del estudiantado es un aspecto fundamental en la educación, ya que influye directamente en su rendimiento y en el desarrollo de sus capacidades. Fomentar prácticas que favorezcan la participación activa del alumnado resulta esencial para garantizar su autonomía y su capacidad para tomar decisiones informadas como futuros ciudadanos en una sociedad dominada por los avances científicos y tecnológicos (Usán Supervía & Salavera Bordás, 2018).

Uno de los aspectos más importantes del aprendizaje de las ciencias es conseguir que los nuevos conceptos se incorporen de manera coherente y estable en la estructura cognitiva del alumnado. En este sentido, el aprendizaje significativo propuesto por David Ausubel en

1968 se vuelve fundamental para comprender la importancia de la experimentación en la enseñanza. De acuerdo con Ausubel (1968), este aprendizaje sucede cuando los nuevos contenidos se relacionan de forma sustancial y no arbitraria con lo que el estudiante ya conoce. De esta forma, el aprendizaje deja de ser una simple acumulación de información para convertirse en un proceso de construcción activa del conocimiento, que se ve especialmente favorecida por estrategias metodológicas que involucran la manipulación, la observación y el análisis de fenómenos, es decir, por la experimentación (Ausubel, 1968; Novak, 2002).

La literatura científica coincide en que la aplicación de experimentos científicos en el aula contribuye a una mejor comprensión de los contenidos y favorece el trabajo en equipo, el desarrollo del pensamiento crítico, la creatividad y la capacidad de resolver problemas (Molina-Ruiz & González-García, 2021; Pozo & Gómez Crespo, 1998). De este modo, la experimentación hace posible que el alumnado pase de ser un receptor pasivo a un sujeto activo que investiga, plantea hipótesis, contrasta datos y expone conclusiones de forma argumentada, integrando así los contenidos desde un enfoque más contextualizado (Quiroz-Londoño, 2020).

La necesidad de renovar la imagen de la ciencia como cuerpo cerrado y de verdades absolutas (Espinosa-Ríos et al., 2016) ha impulsado propuestas educativas que buscan acercar los contenidos científicos a la realidad del alumnado, conectándolos con temas actuales y relevantes en la sociedad. Estas propuestas pretenden motivar a las y los estudiantes, así como promover una visión crítica del conocimiento científico. Un ejemplo son las experiencias de laboratorio relacionadas con la contaminación atmosférica y el impacto medioambiental, que permiten integrar contenidos curriculares con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo al mismo tiempo valores éticos y sociales (Romero & Quesada, 2014).

Asimismo, autores como Hodson (1993) argumentan que la enseñanza de las ciencias debe alejarse del modelo transmisivo para centrarse en la participación activa del alumnado en procesos de investigación, discusión y toma de decisiones. De esta forma, el laboratorio no debe ser sólo un lugar para observar fenómenos, sino también un espacio para conseguir el desarrollo de habilidades, tales como la formulación de preguntas, el diseño y desarrollo de experimentos, y la interpretación adecuada de resultados.

Por otro lado, diferentes estudios en el campo de la neuroeducación han demostrado que el uso de diferentes estímulos durante las clases genera respuestas emocionales positivas

en el alumnado, aumentando así su curiosidad. Con esto se consigue una mayor atención y mejor rendimiento, así como la consolidación de nuevos conocimientos al potenciar la actividad sináptica en el cerebro (Parra García, 2019).

Como se ha mencionado, se observa que los contenidos científicos que se imparten en el aula, no se corresponden con la vida cotidiana de los estudiantes (Ramírez Ramírez, 2023), o por lo menos ellos no lo perciben así. Sin embargo, la enseñanza de las ciencias debería preparar al alumnado para afrontar su día a día y permitirles comprender y relacionarse con su entorno (Sanmartí Puig & Márquez Bagalló, 2017). Cuando las experiencias de laboratorio se presentan de manera innovadora o atractiva, y se logran vincular con sus intereses, conocimientos previos o situaciones cotidianas, se favorece su motivación e implicación en la materia (Oliva Martínez et al., 2004).

En este sentido, la asignatura optativa de “Proyecto de Física y Química” de 4º de ESO es un contexto muy adecuado para incorporar este enfoque, dado que permite la realización de experimentos sobre la base de los conocimientos adquiridos y, por tanto, la participación activa del alumnado. Además, esta asignatura permite al docente una mayor libertad en la elección de los recursos didácticos a utilizar, pudiéndose así desarrollar más fácilmente el aspecto interdisciplinar. Gracias a ello, se favorece la implementación de actividades experimentales ligadas a la actualidad, que no siempre se pueden abordar en el contexto curricular de la asignatura “Física y Química”.

2.2. Innovación didáctica y conexión con la actualidad

Por todos estos motivos, la presente propuesta didáctica incorpora experiencias prácticas directamente relacionadas con temas de actualidad. Se busca así superar la visión de la ciencia como un saber abstracto o aislado, mostrándola como una herramienta fundamental para comprender e interpretar fenómenos del mundo real, desde problemáticas medioambientales hasta cuestiones de orden social, económico o geopolítico. El objetivo es que el alumnado conozca la relevancia y aplicabilidad de los contenidos científicos más allá del entorno escolar y relacione el conocimiento adquirido con situaciones actuales y complejas, como la nanotecnología, el uso de tierras raras como recursos estratégicos, el impacto de la contaminación atmosférica, o los efectos sociales de las migraciones.

Existen cuatro formas para no renunciar a la experimentación en el ámbito educativo: en laboratorios docentes si hay recursos y desdoblés suficientes; cuando esta opción no es posible, se pueden plantear en el aula como experimentos de cátedra; también existe la

posibilidad de experimentar fuera del aula para ampliar la visión de la ciencia del alumnado; y finalmente se pueden realizar pequeños experimentos en casa, pero en este último caso puede haber limitaciones de material y problemas de seguridad. Este tipo de temas se suelen desarrollar en el ámbito doméstico, donde suele haber restricciones en cuanto a material y supervisión. Por este motivo, nos planteamos abordar estas temáticas en una asignatura como “Proyecto de Física y Química” en la que se puede utilizar un laboratorio docente, lo que presenta numerosas ventajas. En primer lugar, se dispone de gran cantidad de material y reactivos para la realización de los experimentos, y por otra parte, la presencia del docente como guía facilita una mejor adquisición de conocimientos, así como el cumplimiento de las normas de seguridad.

En definitiva, se abordan cuatro aspectos relevantes en la sociedad actual, y se incluyen en diferentes prácticas experimentales con el objetivo de introducir la experimentación científica fuera del aula. De esta manera, se pretende que el alumnado relacione lo aprendido con lo que observa en los medios de comunicación. En la figura 1 se muestran algunos recortes de prensa e imágenes representativas de estas cuatro temáticas, tomadas de fuentes informativas recientes, con el fin de ilustrar su relevancia y presencia en la sociedad.



Figura 1. A) Noticia de 2024 sobre la relevancia de las nanopartículas en nanotecnología. B) Noticia del 2021 acerca de la lluvia ácida. C) Imagen sobre la crisis de refugiados de 2015, en la costa italiana del Mediterraneo D) Portada de una noticia de 2025 sobre tierras raras y el conflicto geopolítico con Ucrania y Rusia.

2.2.1. Nanotecnología

En los dos últimos años, tanto la nanociencia como la nanotecnología se han convertido en un campo de investigación científica con gran impacto en el mundo que nos rodea, con numerosas aplicaciones en el ámbito de la medicina, agricultura, transporte, electrónica y medioambiente. El alumnado de ESO y Bachillerato ha crecido en un entorno en el que los nanomateriales y sus aplicaciones forman parte de su realidad, desde los dispositivos móviles que utilizan en su día a día, hasta cosméticos o materiales deportivos avanzados. Sin embargo, a pesar de su relevancia, estos conceptos no se recogen de forma explícita en los currículos oficiales de ESO y Bachillerato (Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo) (Real Decreto 243/2022, de 5 de abril). Por este motivo, es necesario introducir estos conceptos en las aulas, para que los estudiantes puedan conectar el conocimiento científico adquirido con las revoluciones científicas y tecnológicas de la actualidad.

La nanotecnología se define como el conjunto de conocimientos, técnicas y procesos orientados al diseño, manipulación, caracterización y aplicación de los nanomateriales. Estos, son todos aquellos materiales cuyas dimensiones se sitúan en la escala nanométrica es decir, entre 1 y 100 nanómetros (Gómez-Garzón, 2018). Esta disciplina se basa en fenómenos que ocurren a nivel atómico y molecular, donde las propiedades de la materia son muy distintas de las que presentan a escala macroscópica (Haleem et al., 2023).

Uno de los aspectos más distintivos de los nanomateriales es que hasta un 90% de sus átomos se encuentra en la superficie, lo que incrementa significativamente su reactividad y modifica sus propiedades químicas y físicas. De esta manera, modificar la superficie de los nanomateriales puede provocar la obtención de propiedades y funcionalidades muy distintas para una aplicación final concreta (Gupta et al., 2007; Kasemo 2002).

Este campo ha emergido como una herramienta revolucionaria en diversos sectores industriales, con aplicaciones directas en la vida cotidiana y en la economía mundial. De acuerdo con Malik et al. (2023) esta tecnología ha sido incorporada en varias industrias, que incluyen la agricultura, la alimentación, la cosmética, la medicina, la sanidad, la industria automotriz, el petróleo y el gas, y la mecánica.

2.2.2. Tierras raras

La elección del tema de tierras raras en esta propuesta didáctica tiene como objetivo acercar al alumnado a fenómenos científicos con un impacto directo en tecnología, medioambiente y economía global. Hoy en día, es crucial que los estudiantes comprendan

qué recursos hacen posible las nuevas tecnologías, cómo se obtienen y qué consecuencias trae su explotación. Las tierras raras son un claro ejemplo de cómo la química puede enseñarse en relación con los grandes retos de la geopolítica actual, ayudando al estudiantado a desarrollar una mirada más realista y cercana del papel de la ciencia en la vida cotidiana.

Además, cabe destacar la frecuencia con la que este tema aparece últimamente en los medios de comunicación, especialmente en lo relacionado con la transición energética, geopolítica de los recursos estratégicos y la dependencia tecnológica. A pesar de todo ello, este tema no se menciona de forma explícita en el currículo oficial y tratarlo en clase permite conectar este tipo de contenido novedoso con la sociedad actual, despertando así la curiosidad del alumnado.

Las llamadas tierras raras constituyen un grupo de 17 elementos químicos: el escandio (Sc), el itrio (Y) y los lantánidos. A pesar de su nombre, ni son “tierras” en el sentido químico ni son “raras” en cuanto a su abundancia en la corteza terrestre. El término “tierra” proviene de una clasificación antigua del siglo XVIII, cuando los químicos no podían separar estos elementos de sus óxidos con la tecnología disponible en ese momento. Se les consideró “raras” porque los minerales que las contenían eran poco conocidos, aunque actualmente se sabe que estos elementos son más abundantes en la corteza terrestre que otros como el oro, la plata o el mercurio (Prego Reboredo, 2022).

Químicamente, las tierras raras presentan una gran similitud entre sí, debido a sus orbitales electrónicos f , su tendencia a formar cationes trivalentes y sus radios iónicos comparables. Estas características explican su presencia en el mismo tipo de minerales, así como las dificultades para separarlos y por tanto, para descubrirlos. No obstante, estos elementos se diferencian en sus propiedades físicas, particularmente en lo que respecta a sus propiedades ópticas y magnéticas, lo que las hace esenciales para un gran número de aplicaciones tecnológicas (Prego Reboredo, 2022).

Actualmente, el desarrollo tecnológico depende en gran medida de estos elementos, cuya demanda ha incrementado de forma sostenida desde la invención de los microprocesadores en 1971. Elementos como el neodimio (Nd) y el praseodimio (Pr), que representan respectivamente el 49% y el 20% del consumo global de tierras raras, son fundamentales para la fabricación de imanes permanentes utilizados en motores eléctricos, turbinas eólicas y dispositivos electrónicos portátiles. La presencia de las tierras raras en la vida cotidiana es ubicua: se encuentran en pantallas LED, ordenadores, teléfonos móviles,

vehículos eléctricos, láseres, fibra óptica, y hasta en los billetes de euro, gracias a sus propiedades luminiscentes y magnéticas. También están presentes en material hospitalario, gafas, joyería y numerosos elementos del transporte (Prego Reboredo, 2022).

Según estudios recientes, las principales reservas de tierras raras se sitúan en China (38%), Vietnam, Brasil y Rusia. Sin embargo, estos elementos han sido objeto de creciente atención por su carácter estratégico y crítico. Se denominan elementos críticos a aquellas sustancias químicas cuya disponibilidad limitada podría afectar negativamente al desarrollo económico de un país, debido a su carácter indispensable en aplicaciones tecnológicas clave. Elementos como el lantano (La), el europio (Eu), el disprosio (Dy), el tulio (Tm) y el iterbio (Yb) no cuentan con sustitutos viables en muchas de sus aplicaciones clave, lo que los convierte en recursos especialmente deseados (Graedel et al., 2013).

Adicionalmente, las tensiones geopolíticas agravan aún más esta situación. La posición dominante de China en la producción mundial de tierras raras ha generado preocupación en numerosos países, especialmente en Occidente, por el riesgo que supone depender de un único proveedor global. A esto se añade la inestabilidad en otras regiones productoras, como Rusia, y las dificultades en reactivar explotaciones en países como Estados Unidos (Ball, 2024). Un ejemplo reciente de este problema es el acuerdo firmado en 2025 entre Estados Unidos y Ucrania, que concede a Washington acceso preferencial a más de 50 minerales críticos en territorio ucraniano (entre los que se encuentran algunas tierras raras), como compensación por apoyo militar para la guerra con Rusia (Ragheb, 2025). Este pacto, que no incluye yacimientos ya explotados, busca garantizar el suministro de estos minerales para EE. UU., mientras se destina parte de los beneficios a la recuperación económica de Ucrania, evidenciando así como la política internacional y la economía están fuertemente relacionadas con la gestión de estos recursos (BBC News Mundo, 2025).

El principal problema económico asociado a las tierras raras radica en los elevados costes de extracción y procesamiento, derivados sobre todo de la complejidad de los procesos necesarios para separarlas de otros minerales. Estos elementos rara vez se encuentran en estado puro, lo que obliga a emplear técnicas mineras y químicas costosas y altamente especializadas, incrementando así el precio final de las tierras raras en el mercado internacional (Álvarez Calderón & Trujillo Palacio, 2020).

Por otro lado, las actividades de extracción y procesamiento de tierras raras, como la minería a cielo abierto, generan impactos ambientales significativos a lo largo de toda su cadena de producción. Entre los problemas más destacados se encuentran la generación

de residuos peligrosos y parcialmente radiactivos, la contaminación de aguas y suelos por metales pesados, la emisión de polvo radiactivo y la alta demanda energética del proceso. Si bien existen tecnologías emergentes para reducir estos impactos, como la biolixiviación y la separación molecular, su aplicación industrial aún es limitada (Zapp et al., 2022).

2.2.3. Contaminación atmosférica

Trabajar el tema de la contaminación atmosférica y la lluvia ácida en el aula es necesario para que el estudiantado entienda cómo ciertas acciones humanas tienen un impacto directo en el aire que respiramos, lo que repercute en nuestra salud y en el medioambiente. En un contexto donde las ciudades crecen, el uso del automóvil es masivo y las industrias siguen emitiendo gases contaminantes, se vuelve imprescindible que los jóvenes reconozcan qué sustancias están involucradas, de dónde provienen y qué efectos tienen en los ecosistemas.

La lluvia ácida, aunque a menudo se percibe como un tema ajeno a nosotros, es una consecuencia directa de este tipo de contaminación. Por eso, al tratar este tema en clase se consigue que el alumnado haga conexiones entre procesos químicos, como la emisión de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, con problemas ambientales concretos, como el deterioro de bosques, la acidificación de lagos o la corrosión de materiales. Esta visión demuestra que la química puede ser una herramienta muy útil para entender y actuar frente a los problemas ambientales que tienen lugar en la actualidad.

Por otro lado, es un contenido que suele pasarse por alto en el currículo, o tratarse de forma transversal, a pesar de tener conexiones claras con la vida diaria. Entender por qué hay días con mala calidad del aire, por qué se restringe el uso del coche en ciertas zonas o cómo afectan estas condiciones a nuestra salud, ayuda al alumnado a relacionar lo que aprende en clase con lo que vive en su día a día, y refuerza la necesidad de una educación ambiental en el aula.

En los últimos años, la exposición a la contaminación atmosférica ha sido uno de los principales riesgos ambientales para la salud pública en España y Europa, afectando a toda la población y superando los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Querol et al., 2021). Este tipo de contaminación se define como la presencia en el aire de sustancias que pueden suponer un riesgo para el bienestar general, estando principalmente originadas por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles en la industria, el transporte o la gestión de residuos (Ataz & de Mera Morales, 2004). Entre los principales contaminantes se encuentran los óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de

azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO), las partículas en suspensión (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), el ozono troposférico (O_3) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Su presencia está directamente relacionada con un aumento notable de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, que aumentan el índice de mortalidad en la población (Linares et al., 2020). Igualmente, la contaminación atmosférica se ha relacionado con efectos adversos en el desarrollo neurológico infantil y un mayor riesgo de enfermedades neurodegenerativas en adultos (Guxens et al., 2022).

El proceso de contaminación atmosférica consta de varias etapas. En primer término, tiene lugar la emisión de contaminantes desde las fuentes, su dispersión y la transformación química en la atmósfera. Finalmente, ocurre la llegada a los receptores, que pueden ser personas, ecosistemas o materiales (Encinas Malagón, 2009).

En el caso de la lluvia ácida, los óxidos de azufre (SO_x) y de nitrógeno (NO_x) emitidos a la atmósfera, reaccionan con el vapor de agua atmosférico para formar ácidos fuertes, principalmente ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). Estos ácidos se encuentran en las gotas de agua de las nubes y, posteriormente, precipitan a la superficie terrestre en forma de lluvia ácida. Este fenómeno acidifica las aguas superficiales y los suelos, y afecta negativamente a la vegetación, los ecosistemas acuáticos y las infraestructuras, acelerando la corrosión de estos materiales (Música Álvarez, 2023).

A nivel global, la acumulación de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), está contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático. Además, la contaminación atmosférica continúa siendo el principal riesgo ambiental para la salud en Europa, y la mayoría de la población sigue expuesta a niveles de partículas finas superiores a los valores recomendados por la OMS (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2023).

2.2.4. Efectos migratorios

Hablar en el aula sobre los efectos migratorios y la crisis de personas refugiadas es una manera de formar un alumnado más consciente y comprometido con los problemas sociales. En un mundo cada vez más marcado por los desplazamientos forzados y los conflictos internacionales, es importante ofrecer a las y los estudiantes un espacio para cuestionar, entender y empatizar. Al tratar estos temas desde una mirada tanto científica como humanista, se conectan los contenidos escolares con lo que ocurre fuera del aula, y ayudamos a formar jóvenes más críticos, solidarios y comprometidos con la sociedad.

Las fronteras no solo representan límites geográficos, sino que también se han convertido en espacios de exclusión y control que afectan profundamente la vida de las personas refugiadas. El blindaje de fronteras y el endurecimiento de las políticas migratorias en la Unión Europea han generado un entorno hostil para quienes buscan protección internacional, vulnerando principios fundamentales de derechos humanos (Uceda Yela, 2021).

Esta tendencia se consolidó especialmente a partir de la crisis de humanitaria de 2015 que marcó un punto de inflexión en las políticas migratorias europeas, especialmente en la frontera sur de España. Durante ese año, se produjo un aumento significativo en la llegada de personas refugiadas a las costas españolas, lo que llevó a la Unión Europea y al Estado español a endurecer las medidas de control fronterizo y a reforzar la securitización de sus límites exteriores, esto es la implementación de medidas extraordinarias de seguridad para responder a una amenaza percibida para la seguridad de los países (Piñeiro Aguiar & Alfonso Bouhaben, 2023).

Estas estrategias, lejos de solucionar las causas estructurales de la migración, intensificaron la peligrosidad de las rutas y aumentaron la vulnerabilidad de quienes intentan acceder a territorio europeo, perpetuando un enfoque basado en la seguridad y el control, en detrimento de la protección de los derechos humanos. La construcción de más de 2000 km de muros y vallas en Europa desde la caída del muro de Berlín refleja una tendencia creciente hacia la “Europa fortaleza”. Todo ello sumado a la creciente criminalización de las organizaciones no gubernamentales (ONGs) que prestan ayuda humanitaria, ha obstaculizado aún más el rescate y la asistencia a personas en situación de riesgo (Carrera & Cortinovia, 2019)

Las consecuencias de esta situación son numerosas: en 2024, según el informe *Monitoreo Derecho a la Vida 2024* de la ONG Caminando Fronteras, en 2024 fallecieron 10.457 personas intentando llegar a las costas españolas, lo que representa un aumento del 58% respecto al año anterior. Esto equivale a una media de casi 30 muertes diarias. En el mismo año, el *Informe sobre inmigración irregular*, registró e 63.970 llegadas irregulares de migrantes a España, un incremento del 12,5% respecto a 2023. La ruta principal fue hacia Canarias, con 46.843 entradas, un 17,4% más que el año anterior.

3. Objetivos del TFM

1. Replicar y desarrollar experiencias de laboratorio conectadas con fenómenos actuales, e implementarlas en un grupo de Educación Secundaria Obligatoria.

- 1.1. Elaborar guiones de laboratorio adaptados al nivel del alumnado, y que faciliten el desarrollo de las prácticas experimentales.
 - 1.2. Llevar a cabo actividades experimentales donde se integren contenidos de “Física y Química”.
 - 1.3. Implementar la propuesta en el laboratorio, adaptándola a los recursos disponibles del centro, a través de una intervención en un grupo de la asignatura “Proyecto de Física y Química” de 4º de ESO.
 - 1.4. Conectar cada actividad práctica con una temática de actualidad:
 - Nanotecnología: Síntesis de hierro pirofórico.
 - Tierras raras: Propiedades magnéticas de un imán de neodimio
 - Efectos migratorios: Experimentos visuales sobre tensión superficial como metáforas sociales.
 - Contaminación atmosférica: Simulación de lluvia ácida.
2. Lograr la alfabetización científica, el desarrollo del pensamiento crítico y la capacidad de análisis del alumnado a través de actividades prácticas, de modo que puedan comprender algunos problemas actuales del mundo que les rodea.
 - 2.1. Lograr la alfabetización científica, fomentando la comprensión de conceptos a través de actividades prácticas.
 - 2.2. Fomentar el interés y la motivación del alumnado hacia la ciencia mediante la realización de prácticas experimentales sobre temáticas actuales.
 - 2.3. Estimular la capacidad de los estudiantes para formular hipótesis y sacar conclusiones fundamentadas como parte del proceso de investigación científica.
 - 2.4. Evaluar el impacto de la propuesta aplicando un cuestionario de elaboración propia antes y después de llevarla a cabo.

4. Metodología del TFM

4.1. Sujetos y características de la muestra

El grupo de “Proyecto de Física y Química” de 4º ESO se compone de 21 estudiantes. Sin embargo, en la muestra del estudio de caso de este TFM tendremos en cuenta a 16 estudiantes, ya que 5 de ellos no asistieron a alguna o ninguna de las actividades prácticas realizadas. Este grupo está formado por 9 personas de la modalidad de “Humanidades”, y por 8 personas de la modalidad “Científica”. En general, el alumnado del grupo de ciencias

suele tener mayor predisposición a realizar los experimentos, así como mejores resultados académicos que los de la otra modalidad.

4.2. Propuesta didáctica

En primer lugar, se pretende desarrollar una serie de guiones de laboratorio sobre diferentes actividades prácticas previamente realizadas en otros contextos educativos. Estas actividades se adaptan y desarrollan en el aula con un grupo de estudiantes de la asignatura optativa “Proyecto de Física y Química” de 4º ESO del IES Emperatriz María de Austria.

La temporalización de esta propuesta es de cuatro sesiones de 55 minutos, dedicando una sesión completa para llevar a cabo cada una de las actividades prácticas. Asimismo, todas las experiencias de laboratorio se realizaron utilizando los recursos materiales disponibles en el centro educativo, a excepción de un imán permanente, que nos prestó mi tutora de la universidad.

Por otro lado, dada la novedad de la propuesta, el departamento didáctico decidió no incluirla de forma directa en la evaluación de la asignatura, ni en la calificación de los estudiantes. Sin embargo, sí se incorporaron algunos de los experimentos en el programa de la “VIII Semana de la ciencia”, donde el alumnado de la asignatura debía explicar el fundamento científico de las actividades a estudiantes de cursos inferiores. De esta manera, se da una mayor visibilidad a la experimentación científica, y se comprueba mediante la observación directa si han comprendido los conceptos teóricos abordados.

Además, antes de llevar a cabo las experiencias de laboratorio, se pasa al alumnado de la asignatura un cuestionario de 13 preguntas que se muestra en el Anexo 1. Se trata de una herramienta de elaboración propia, con la que se pretende comprobar el nivel de conocimiento general de los estudiantes acerca de diferentes temas de actualidad (nanotecnología, tierras raras, efectos migratorios y contaminación atmosférica), así como su visión y sus actitudes hacia la ciencia. Tras realizar las experiencias prácticas, se vuelve a entregar el mismo cuestionario con el fin de comprobar si ha habido una mejora de los resultados tanto académicos como actitudinales hacia ciencia. En este último cuestionario, se añadieron las preguntas 14 y 15, que se muestran en el Anexo 1, para conocer también la opinión del alumnado y comprobar si los experimentos realizados les habían resultado interesantes o motivadores. En la figura 2 se muestra un esquema de los pasos que se seguirán para desarrollar el presente TFM.

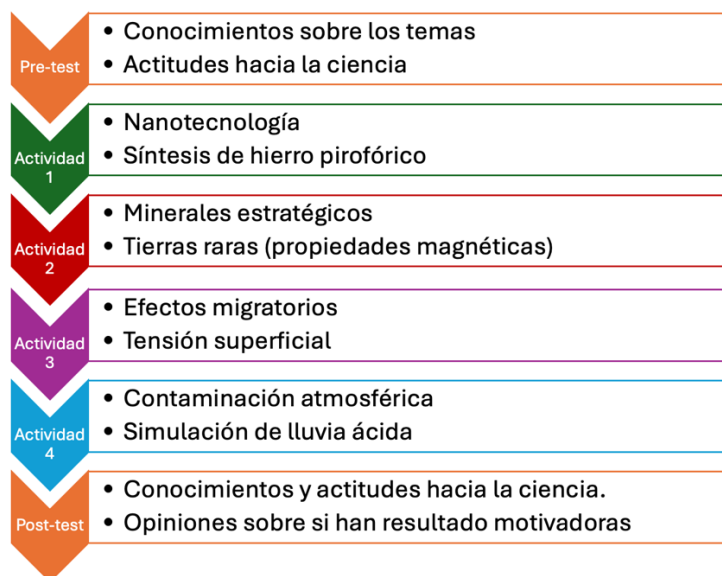


Figura 2. Esquema sobre el desarrollo de la intervención didáctica

4.3. Actividades propuestas

La metodología empleada en las sesiones consiste en realizar, en primer lugar, una breve introducción teórica sobre algunos conceptos nuevos o que resultan más complicados para el alumnado. El objetivo de esta primera parte es crear un primer acercamiento a los conceptos para que la experimentación se lleve a cabo con mayor dinamismo, sin necesidad de recurrir a una exposición muy larga o cargada de tecnicismos. A continuación, se procede con el desarrollo de las actividades prácticas, las cuales se llevarán a cabo de manera diferente según los recursos disponibles o el peligro que suponga la manipulación de determinados reactivos.

4.3.1. Síntesis de hierro pirofórico ligado con nanotecnología

Esta experiencia se basa en una práctica que se realiza en el Grado de Química de la UCM, concretamente en el laboratorio de la asignatura de Química Inorgánica I, de segundo curso. La actividad consiste en obtener hierro finamente dividido que arde espontáneamente en contacto con el aire (pirofórico) a través de la síntesis del oxalato de hierro (II), gracias a la cual se puede introducir la diferencia entre el tamaño nanométrico y macroscópico, y relacionarlo con la nanociencia o nanotecnología.

Además de realizarla en la carrera, tuve la oportunidad de desarrollarla en el proyecto *Talleres inclusivos de química con la metodología de I.amAble*, en el IES Las Musas de Madrid. En dicho taller, junto a otros estudiantes del Máster en Formación del Profesorado y del Grado en Química, guiamos al alumnado en el desarrollo de la práctica *Síntesis de*

hierro pirofórico. La actividad se organizó en grupos de tres estudiantes, formados por estudiantes de 1º de Bachillerato y de 1º de un Grado Superior de Formación Profesional del centro, junto con estudiantes con discapacidad intelectual del CPEE Fundación Goyeneche de Madrid. La experiencia fue realmente enriquecedora, lo que me llevó a replicarla posteriormente con el alumnado de “Proyecto de Física y Química” de 4º de ESO del IES Emperatriz María de Austria, que se llevó a cabo también en grupos de tres o cuatro estudiantes, para que todos ellos participaran de forma activa en su desarrollo.

4.3.2. Magnetismo ligado con tierras raras

Esta experiencia práctica surge de la problemática actual relacionada con la extracción de tierras raras, y el fuerte impacto que tiene en la geopolítica mundial. Me parecía una buena oportunidad acercar este tema tan mencionado recientemente en los medios de comunicación al aula, y así fomentar la alfabetización científica del alumnado.

En particular, se trabajó el concepto de magnetismo, como una de las propiedades más destacadas de algunos de estos elementos, como el neodimio (Nd). Para esta actividad sólo disponíamos de un imán permanente, de modo que la primera parte de la práctica la realizaron todos los estudiantes de forma conjunta en una misma mesa del laboratorio, en la que debían determinar cuál de los dos imanes proporcionados estaba formado por una tierra rara. En la segunda parte, se pretendía fabricar una brújula casera, para lo cual se hicieron grupos de tres estudiantes, de manera que todos ellos pudieran manipular el material y observar el fenómeno del magnetismo de primera mano.

4.3.3. Tensión superficial ligada con efectos migratorios

Esta práctica parte de una ponencia de la XIV Feria Madrid es Ciencia, realizada por Pablo Nacenta en marzo de 2025 (Nacenta, P., 2025). En esta conferencia titulada “Vayas donde vayas, vallas: una metáfora visual para un enfoque social de la física” se realizó un símil entre distintas actividades prácticas de tensión superficial y diferentes efectos migratorios, derivados de guerras. Esta actividad nace de una propuesta de la UNESCO sobre educación del futuro, que ha de basarse en los derechos humanos, los principios de no discriminación, justicia social, respeto a la vida y calidad humana, y diversidad cultural.

La presente propuesta didáctica tiene como objetivo principal hacer al alumnado reflexionar y posicionarse de manera crítica ante los problemas sociales actuales. Se pretende:

- Crear un marco para ayudar al alumnado a tomar decisiones frente a una crisis social.

- Generar un pensamiento crítico, cuestionando las ideas que se consideran verdaderas y llegando a conclusiones propias.
- Conocer las estructuras de organización social y las diversas formas de participar en ellas para ejercer una ciudadanía activa.
- Abordar las migraciones como situaciones de movilidad humana forzada, analizando sus causas, manifestaciones y consecuencias.
- Empatizar con los sectores sociales afectados por diferentes problemáticas sociales.

En este caso, Pablo Nacenta se basa en la crisis de refugiados del año 2015, y para que las metáforas sean visuales, cada experimento tiene un título. En nuestro caso realizaremos las experiencias “Huida”, en la que se observa la dispersión del colorante en leche al introducir jabón, simulando el abandono del hogar de los refugiados debido a persecuciones o conflictos armados; y “Campo de refugiados”, donde se observa cómo el agua entra fácilmente en un matraz a través de una gasa, pero no es capaz de salir al invertirlo, simbolizando la dificultad de salir de estos lugares para buscar mejores condiciones de vida.

Para ambas experiencias, se hacen grupos de tres o cuatro estudiantes, de manera que todos los integrantes tengan la oportunidad de intervenir y formar parte del desarrollo de los experimentos. Además, al finalizar las actividades, se realiza un debate conjunto, en el que debe participar todo el alumnado, y se deja un espacio para la reflexión y discusión de problemas sociales.

4.3.4. Simulación de lluvia ácida ligada con contaminación atmosférica

El motivo principal por el que realizar una experiencia de laboratorio en la que se simula la lluvia ácida, es acercar al alumnado a un fenómeno ambiental de gran relevancia, desde el punto de vista químico, ecológico y social.

Esta experiencia está inspirada en una propuesta desarrollada por Andrea Martínez Topete, en su periodo de prácticas en el IES Ramón y Cajal (disponible en la Mediateca de EducaMadrid: <https://mediateca.educa.madrid.org/video/1755xyu3wozszh8m>), y tiene como finalidad reproducir a pequeña escala los efectos corrosivos de la lluvia ácida sobre la vegetación.

Con esta actividad, el alumnado puede visualizar de primera mano el impacto de determinadas reacciones químicas en el entorno, especialmente aquellas derivadas de la emisión de contaminantes de la industria. A través de la práctica, se busca reforzar contenidos relacionados con la química ambiental y la reactividad de los metales, así como

fomentar una conciencia crítica sobre el papel de la actividad humana en la contaminación atmosférica y en la degradación de los ecosistemas.

Por motivos de seguridad, esta actividad se plantea como una experiencia de cátedra, es decir, es la docente quien ejecuta el procedimiento experimental, mientras el alumnado observa a distancia, analiza lo sucedido y saca sus propias conclusiones. De este modo, se minimizan los riesgos asociados a la manipulación e inhalación de sustancias peligrosas.

5. Resultados y discusión

Para cada una de las prácticas se diseña el guion, y se indican a continuación los aspectos más relevantes de su desarrollo e implementación. También se discute la vinculación en cada caso con los diferentes temas de actualidad, siguiendo los objetivos planteados.

5.1. Actividad 1: Nanotecnología

5.1.1. Guion y desarrollo de la práctica “Síntesis de hierro pirofórico”

Fundamento teórico

En esta práctica de laboratorio, el producto formado es el oxalato de hierro(II), que tras su secado es sometido a descomposición térmica. Al calentar el complejo, éste se descompone, formando hierro finamente dividido (de tamaño nanométrico) y liberando dióxido de carbono (CO₂), y agua según se muestra a continuación:



Este hierro metálico es altamente reactivo debido a su gran superficie de contacto, lo que provoca que, al entrar en contacto con el oxígeno del aire, se oxide espontáneamente. La oxidación no ocurre previamente en el tubo, porque el CO₂ liberado es más denso que el oxígeno (O₂) impidiendo la entrada de este último en el tubo de ensayo y haciendo que no pueda reaccionar con el metal.

Esta oxidación no da lugar a una única forma de óxido, sino a una mezcla de óxidos de hierro. Entre otros, se forman magnetita (Fe₃O₄), hematita (α-Fe₂O₃) y maghemita (γ-Fe₂O₃). La magnetita y la maghemita son ferromagnéticas, lo que significa que presentan propiedades magnéticas perceptibles, una característica que se comprueba en la práctica al atraer el sólido con un imán. (Noval et al., 2017)

Material y reactivos

- 2 vasos de precipitados de 100 mL
- 1 probeta de 25 mL

- Espátula
- Vidrio de reloj
- Tubos de ensayo
- Papel de filtro
- 1 embudo de vidrio
- Balanza
- Labogas
- Sulfato de hierro (II) heptahidrato ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Ácido oxálico dihidrato ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Procedimiento experimental

En primer lugar, se pesa en una balanza 1 g de sulfato de hierro (II) heptahidrato y 0,45 g de ácido oxálico dihidrato. Cada uno de los reactivos se disuelve por separado en 20 mL de agua destilada que se miden con probeta, utilizando vasos de precipitados de 100 mL. Una vez se encuentren completamente disueltas, se mezclan ambas disoluciones en un único vaso de precipitados. En este momento se observa un cambio de color a amarillo, lo que indica que se ha formado el complejo de coordinación denominado oxalato de hierro(II), $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{H}_2\text{O})_2]_n$.

La mezcla se mantiene en agitación constante durante aproximadamente 20 minutos, y al mismo tiempo se prepara un filtro de pliegues para proceder a la filtración por gravedad cuando la mezcla esté totalmente disuelta. Finalizado este tiempo, se filtra la mezcla, y el sólido que queda retenido en el papel se deja secar en un radiador durante dos días. Una vez transcurrido este tiempo, se recoge el polvo seco de oxalato de hierro (II) en un tubo de ensayo para su posterior uso.

Para observar el fenómeno de la oxidación espontánea del complejo de hierro, se calienta en un *labogas* el tubo de ensayo que contiene el polvo sintetizado. Durante el calentamiento, se agita vigorosamente el tubo, dando toques con una espátula en la parte inferior del mismo para evitar el apelmazamiento de las partículas. Cuando el sólido cambia de color amarillo a negro, se interrumpe el calentamiento. A continuación, dejando el laboratorio a oscuras, se deja caer el contenido del tubo de ensayo (hierro finamente dividido) a una hoja de papel de aluminio previamente colocada sobre el suelo. Se observa entonces una reacción exotérmica, producida al oxidarse el hierro finamente dividido.

Para finalizar se emplea un imán para comprobar las propiedades magnéticas del producto resultante de la descomposición térmica del oxalato de hierro (II) y se analiza el proceso de reducción que ha tenido lugar, así como la formación de la magnetita (Fe_3O_4) y/o la maghemita, que justifica la atracción magnética observada. En la Figura 3 se muestran algunas etapas de la práctica.

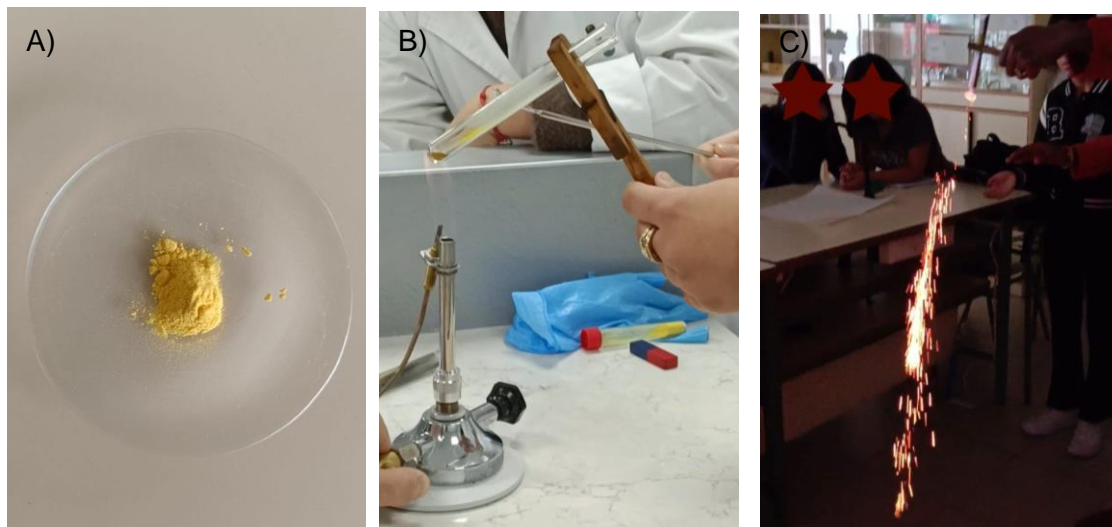


Figura 3. A) Polvo de oxalato de hierro (II) sintetizado y secado en el radiador. B) Calentamiento del oxalato de hierro (II) para lograr su descomposición térmica. C) Oxidación del hierro finamente dividido al entrar en contacto con el oxígeno del aire.

5.1.2. Vinculación didáctica con la nanotecnología

La práctica de *Síntesis de hierro pirofórico* se planteó como una oportunidad para introducir el concepto de nanotecnología, estableciendo un vínculo directo entre la experiencia práctica y un campo de la ciencia de gran relevancia en el mundo actual. Por ello, antes de proceder con el desarrollo experimental, se realizó una introducción teórica, adaptada al nivel de los estudiantes, con el objetivo de proporcionar el marco teórico necesario para comprender el sentido y la finalidad de la práctica propuesta.

Se comenzó la sesión con una estrategia para captar la atención del alumnado, afirmando que “El tamaño SÍ importa”, para introducir la escala métrica y, en especial la unidad de medida nanómetro (nm). Este término no era conocido por el alumnado, de manera que se utilizó el recurso digital *The Scale of Universe* (<https://htwins.net/scale2/>), con el fin de visualizar de manera progresiva y comparativa la diferencia entre la escala macroscópica y la nanométrica. Este recurso resultó eficaz para lograr la comprensión y la intuición del tamaño relativo de diferentes objetos y estructuras biológicas, haciendo que el alumnado comprendiera de forma más precisa la escala con la que trabajarían durante la práctica de síntesis.

Una vez comprendido este concepto, se retomó la frase inicial, y se introdujo la idea de que las propiedades de los materiales pueden cambiar drásticamente al reducirse a escala nanométrica. Para ejemplificarlo, se utilizó el caso del oro: mientras que en su forma macroscópica presenta su color dorado característico, cuando se encuentra en escala

nanométrica, puede adquirir tonalidades como el rojo, además de variar notablemente su reactividad química (Daniel & Astruc 2004). Este cambio de propiedades es uno de los pilares fundamentales de la nanotecnología.

Seguidamente, para introducir la cuestión principal se planteó la pregunta “¿Qué le ocurre a un bloque de hierro si se deja en el exterior?”, a lo que la mayoría contestó que, en un principio no pasaría nada pero pasados los días comenzaría a oxidarse. A partir de esta respuesta se introdujo la diferencia de reactividad química entre el hierro en forma macroscópica y el hierro reducido a partículas de tamaño nanométrico (hierro finamente dividido). En este último caso, la oxidación se produce de forma espontánea y rápida al entrar en contacto con el oxígeno del aire, debido a que al aumentar la superficie de contacto, aumenta su velocidad de reacción (concepto que ya habían tratado en la asignatura de Física y Química).

Posteriormente, se trató de forma simplificada el concepto de nanotecnología, definiéndola como el conjunto de técnicas y conocimientos orientados al estudio, manipulación y control de la materia a escala nanométrica, normalmente comprendida entre 1 y 100 nm. Para favorecer la comprensión de esta escala, se explicó al alumnado que el tamaño de los átomos individuales se encuentra en el orden de ángstroms ($1 \text{ \AA} < > 0,1 \text{ nm}$), lo cual los sitúa justo por debajo del umbral nanométrico. Sin embargo, se aclaró que muchos de los sistemas y estructuras con los que trabaja la nanotecnología, como nanopartículas, nanoestructuras y materiales con organización molecular específica se encuentran formados por grupos de átomos o moléculas cuyo tamaño conjunto sí encaja dentro de la escala nanométrica. Esto hace que la nanotecnología pueda operar en la base estructural de la materia y modificar propiedades fundamentales desde sus niveles más elementales.

Además, se destacó que una de las revoluciones tecnológicas de este campo ha sido precisamente el desarrollo de herramientas avanzadas como la microscopía de efecto túnel (*Scanning Tunneling Microscope*, STM), que permite la manipulación de átomos de forma individual, dando lugar a nuevas posibilidades en el diseño de materiales con propiedades específicas (Binnig & Rohrer, 1983).

Finalmente, se subrayó el carácter interdisciplinar de la nanotecnología, así como algunas de sus aplicaciones más relevantes en ámbitos como la medicina (nanofármacos o sistemas de liberación dirigida), el medioambiente (nanomateriales para la purificación del agua o el aire y sensores de contaminantes) o la industria energética (eficiencia de las placas solares, y almacenamiento de energía en baterías y supercondensadores). Otras

aplicaciones relevantes incluyen la mejora de materiales para la construcción (mayor resistencia y durabilidad), el desarrollo de textiles inteligentes con propiedades autolimpiantes, y la fabricación de envases que prolongan la vida útil de los productos alimentarios (Malik et al., 2023)

5.2. Actividad 2: Tierras raras

5.2.1. Guion y desarrollo de la práctica “Propiedades magnéticas del neodimio”

Fundamento teórico

El primer experimento se basa en la comparación entre la fuerza magnética de un imán de neodimio (Nd-Fe-B) y la de un imán convencional de hierro. Los imanes de neodimio, clasificados como imanes de tierras raras, presentan una estructura cristalina tetragonal que les da una saturación magnética y coercitividad excepcionalmente altas, lo que se traduce en una densidad de energía magnética y una fuerza de atracción muy superiores a las de los imanes tradicionales de ferrita o hierro. Esta superioridad magnética se debe a la alineación eficiente de los dominios magnéticos y a la composición química específica del compuesto $Nd_2Fe_{14}B$, que maximiza la remanencia y la estabilidad frente a la desmagnetización (Abad & Sagredo, 2018).

En el segundo experimento, la construcción de una brújula ilustra el fenómeno del magnetismo inducido: cuando frotamos una aguja de acero repetidamente en una sola dirección con un imán, se alinean los dominios magnéticos que forman el material, convirtiendo la aguja en un pequeño imán temporal, con un polo norte y un polo sur. Este proceso, conocido como imantación, es el mismo principio físico que se emplea en la fabricación de imanes permanentes, y nos muestra cómo los materiales ferromagnéticos pueden adquirir propiedades magnéticas bajo la influencia de un campo externo.

Al colocar la aguja imantada sobre un trozo de papel y dejarla flotar en agua, dejamos que gire libremente, sin apenas fricción y se observa cómo se alinea con las líneas de campo magnético de la Tierra. Así, la aguja, señala la dirección norte-sur, tal y como lo hacen las brújulas, dejando claro el concepto de imantación temporal y la interacción entre imanes y campos magnéticos externos.

Materiales y reactivos

- | | |
|--------------------|---------|
| - Imán de neodimio | - Aguja |
| - Imán de hierro | - Vaso |
| - Monedas y clips | - Agua |

Procedimiento experimental

En primer lugar, se proporcionó a los estudiantes un imán de neodimio (NdFeB), y uno de hierro, y se les pidió que realizaran un diseño experimental, y determinasen cuál de los dos era el que contenía una tierra rara. En este momento, comenzaron a recopilar material propio y del laboratorio que pudieran ser atraídos por los imanes, como monedas o clips. Seguidamente fueron acercando progresivamente cada uno de los objetos a ambos imanes y midiendo la distancia a la que comenzaban a ser atraídos. De este modo, se pudo observar claramente que el imán de Nd-Fe-B atraía los objetos desde distancias mayores, lo que puso de manifiesto las notables propiedades magnéticas del neodimio, que ya se habían mencionado en la parte teórica.

Para la segunda parte de la práctica, se construirá una brújula casera utilizando una aguja metálica, que se imanta frotándola varias veces en la misma dirección con el imán de neodimio. A continuación, se sujeta la aguja imantada en un pequeño trozo de papel, de modo que pueda flotar horizontalmente sobre la superficie de un vaso con agua. Una vez colocada se observa cómo la aguja gira hasta alinearse con el campo magnético terrestre, señalando el norte magnético. Para comprobarlo, se compara la orientación de la brújula fabricada con la de una brújula convencional o una aplicación móvil, reflexionando sobre el fenómeno observado y la relación entre el magnetismo inducido y el campo magnético de la Tierra. En la Figura 4 se muestra la brújula casera construida.



Figura 4. Brújula casera comparada con una aplicación móvil.

5.2.2. Vinculación didáctica con las tierras raras

Antes de llevar a cabo la actividad de laboratorio, se realizó una presentación teórica en la que se introdujo el concepto de tierras raras, se identificaron estos elementos en la tabla

periódica y se mencionaron sus propiedades más destacadas. Esta introducción teórica se reforzó con ejemplos concretos, como el europio (Eu) y sus aplicaciones en la emisión de luz fluorescente en billetes de euro, y el neodimio (Nd), cuya capacidad para formar imanes extremadamente potentes fue experimentada directamente por los estudiantes en la práctica de laboratorio.

La experiencia práctica, en la que los alumnos compararon la fuerza magnética de diferentes imanes, favoreció un aprendizaje por descubrimiento, permitiendo que los estudiantes dedujeran por sí mismos la importancia del neodimio y, por tanto, de las tierras raras en la tecnología. Esta metodología se complementó con una exposición acerca de la presencia de tierras raras en dispositivos electrónicos de uso cotidiano, como los smartphones, en los que estos elementos se emplean en componentes tan diversos como el micrófono, el altavoz o la pantalla. Así, el alumnado pudo conectar de forma directa los contenidos científicos abordados y su entorno, comprendiendo cómo la química de los materiales impacta en la funcionalidad y el diseño de los dispositivos que utilizan a diario.

Finalmente, la actividad incluyó una discusión sobre los retos asociados a la extracción y el procesamiento de tierras raras, mencionando el tema de la sostenibilidad ambiental, los conflictos geopolíticos y la cuestión económica. Gracias a este enfoque, los estudiantes entendieron por qué estos recursos son tan importantes a nivel estratégico, y también empezaron a cuestionarse los problemas globales que trae su explotación, como la contaminación del suelo y el agua, la acumulación de residuos tóxicos y la dependencia hacia ciertos países productores.

5.3. Actividad 3: Efectos migratorios

5.3.1. Guion y desarrollo de la práctica “Tensión superficial”

Fundamento teórico

La tensión superficial es una propiedad física característica de los líquidos que se manifiesta como una resistencia de su superficie a aumentar de área. En términos simples, la superficie de un líquido se comporta como si estuviera recubierta por una fina membrana elástica, debido a las fuerzas intermoleculares que actúan en el líquido (Atkins et al., 2022).

Esta propiedad se debe a la naturaleza de las fuerzas de cohesión. En el interior del líquido, una molécula está rodeada por otras moléculas en todas direcciones, por lo que las fuerzas de atracción se compensan entre sí, y la fuerza neta sobre cada una de ellas es nula. Sin embargo, en la superficie, las moléculas carecen de vecinas en la parte superior, por lo que

experimentan una fuerza neta dirigida hacia el interior del líquido (Zumdahl & DeCoste, 2012). Esta asimetría en las fuerzas provoca que el sistema tienda a minimizar la energía superficial, lo cual se traduce en una reducción del área superficial al mínimo posible.

Este fenómeno explica, por ejemplo, por qué las gotas de agua adoptan una forma esférica, ya que esta es la figura geométrica con menor superficie para un volumen dado. Además, ayuda a comprender la capacidad de ciertos insectos (como el *Gerris lacustris* o zapateros de agua) de desplazarse por la superficie del agua sin hundirse, o la formación de meniscos en tubos capilares.

Asimismo, se introduce el concepto de tensioactivo como una molécula anfipática, es decir, que posee una parte hidrofílica (es afín al agua) y una parte hidrofóbica (repulsión al agua). Esta propiedad provoca que pueda situarse en la interfaz entre dos fases, como agua y aceite, y reducir la tensión superficial entre ellas.

En la experiencia “Huida” la leche tiene una tensión superficial similar a la del agua. Al introducir el bastoncillo con detergente, se reduce esta tensión superficial del agua debido a la presencia del tensioactivo. Se produce así una diáspora de colores, ya que se genera un movimiento de las moléculas que empuja los colorantes hacia los bordes. Este fenómeno se utiliza como metáfora visual de la huida forzada y el desplazamiento, simulando cómo ciertas condiciones externas (como los conflictos o la violencia) alteran la estabilidad de un entorno, provocando la dispersión de personas o comunidades.

Por otro lado, con la actividad “Campo de refugiados” al dar la vuelta al matraz, la gasa actúa como barrera, pero es la tensión superficial del agua la que impide que el líquido se salga con facilidad. Esto ocurre porque las moléculas de agua en la superficie, en contacto con la gasa y el aire, experimentan una mayor atracción hacia el interior del líquido que hacia el exterior, lo que mantiene el agua suspendida y evita que caiga a través de los poros de la gasa. Solo cuando se altera esta superficie, por ejemplo, al tocar la gasa o al aumentar la presión interna, el agua vence la tensión superficial y fluye hacia fuera.

Materiales y reactivos

Huida

- Agua
- Leche entera
- Colorante alimenticio
- Jabón lavavajillas
- Bastoncillos de algodón

Campo de refugiados

- Agua
- Matraz Erlenmeyer 200mL
- Gasas de algodón
- Goma elástica

Procedimiento experimental

Huida

Para esta actividad, se vierte sobre un cristalizador una delgada capa de leche entera, cubriendo aproximadamente un dedo de altura. Seguidamente se añaden un par de gotas de colorante alimenticio de distintos colores (amarillo, rojo y azul) (Figura 5). Finalmente, para comprobar la disminución de la tensión superficial, se impregna un bastoncillo de algodón en jabón lavavajillas y se introduce en la leche, observándose así una dispersión de los colores.



Figura 5. Secuencia de fotos de la experiencia huida, en la que se observa la diáspora de colores debido a la disminución de tensión superficial.

Campo de refugiados

Se coloca una gasa de algodón sobre la boca de un matraz Erlenmeyer de 200 mL, asegurándola firmemente con una goma elástica. A continuación, se vierte agua en el matraz a través de la gasa, observando que el líquido atraviesa con facilidad hacia el interior. Finalmente, al invertir el matraz, se comprueba que el agua no fluye con la misma facilidad hacia el exterior, permaneciendo retenida por la gasa (Figura 6).

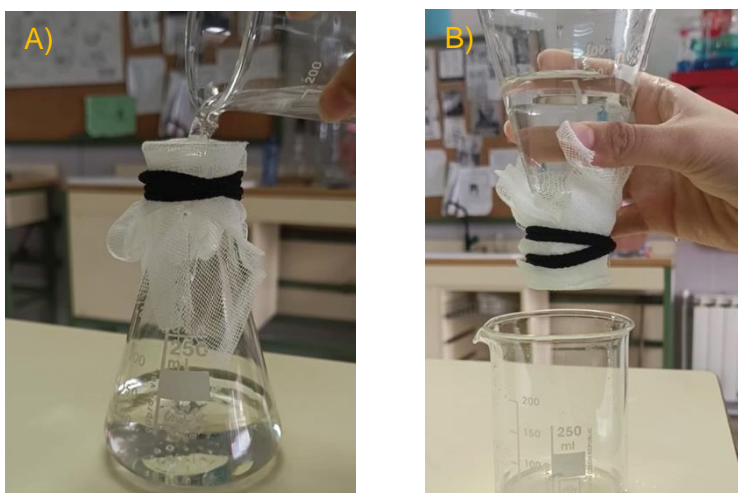


Figura 6. Actividad experimental "Campo de refugiados". En la imagen A) se observa cómo el agua entra libremente en el matraz, mientras que en la B) se comprueba que no sale al invertirlo.

5.3.2. Vinculación directa con los efectos migratorios

En la actividad "Huida" se utilizó la ruptura de la tensión superficial como una metáfora visual para representar la ruptura de cohesión social que obliga a miles de personas a huir de sus hogares. En la práctica, la diáspora de colores ocurre al introducir el bastoncillo con lavavajillas, pero en la realidad, esta diáspora viene producida por problemas religiosos, culturales, medioambientales, así como generados por conflictos bélicos. El experimento logró captar la atención del alumnado, y permitió abrir un debate en el aula en el que se destacaron algunas de las causas de la migración forzada. Se analizó cómo determinadas situaciones obligan a comunidades a emprender viajes inseguros en busca de refugio, y cómo las fronteras pueden actuar como mecanismos de control. Todas y todos participaron de forma activa en el análisis, y compartieron sus ideas sobre el concepto de migración, comprendiendo al final de la sesión la importancia de abordar este tema en la asignatura.

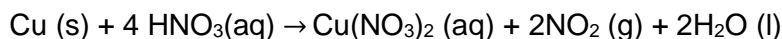
En cuanto a la actividad "Campo de refugiados", tras comprobar cómo la tensión superficial retenía el agua dentro del matraz, se utilizó la analogía de estos campos donde acceso de refugiados es posible, pero la salida queda bloqueada, representando así una situación de retención y de vulneración de los derechos humano. A partir de la metáfora, se abrió un debate en clase sobre los efectos migratorios y la realidad de los campos de refugiados, hablando de cómo millones de personas en el mundo se ven obligadas a dejar sus hogares por causas que van más allá de la búsqueda de mejores oportunidades. De esta forma se fomentó una visión crítica de la situación, y se concienció a los alumnos sobre el gran problema que esto supone.

5.4. Actividad 4: Lluvia ácida

5.4.1. Guion y desarrollo de la práctica "Simulación de la lluvia ácida"

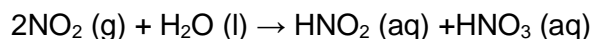
Fundamento teórico

Esta experiencia se basa en una reacción redox entre el cobre metálico (Cu) y el ácido nítrico concentrado (HNO₃). La ecuación química global que representa el proceso es la siguiente:



Durante esta reacción, el cobre es oxidado por el ácido nítrico, generando dióxido de nitrógeno (NO₂), un gas marrón-amarillento, tóxico y altamente reactivo. Este gas se introduce en un matraz que contiene una hoja vegetal, simulando el ambiente contaminado por emisiones industriales. Posteriormente, al añadir agua destilada al sistema, el NO₂ se

disuelve formando una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) y ácido nitroso (HNO_2) (Verma et al., 2020):



Para evidenciar los cambios en la acidez de la disolución, se puede emplear un indicador ácido-base, como el rojo de metilo, cuya zona de viraje se sitúa entre pH 4,2 y 6,3. Este compuesto presenta una coloración roja en medios ácidos ($\text{pH} < 4,2$) y amarilla en medios neutros o ligeramente ácidos ($\text{pH} > 6,3$), gracias a lo cual se pueden detectar visualmente pequeñas variaciones en el pH de una disolución. Se destaca que el pH de la lluvia normal suele situarse entre 6 y 7, debido a la presencia de dióxido de carbono atmosférico que forma ácido carbónico (H_2CO_3), mientras que la lluvia ácida presenta un pH comprendido entre 4 y 5, dependiendo de la concentración de ácidos presentes, como el H_2SO_4 y HNO_3 , formados por la reacción del SO_2 y el NO_2 con el agua presente en la atmósfera

Materiales y reactivos

- 2 Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Vaso de precipitados de 500mL
- Tapones de corcho
- Tubo de ensayo
- Agua destilada
- Ácido nítrico (HNO_3) 60% concentrado
- Cobre metálico
- Indicador rojo de metilo

Procedimiento experimental

Dado que esta práctica implica la liberación del gas tóxico NO_2 , se llevará a cabo en un entorno bien ventilado, preferiblemente cerca de las ventanas, que permanecerán abiertas durante toda la actividad. Por este motivo, será la profesora quién realice el experimento, mientras el alumnado observa desde una distancia de seguridad y reflexiona al respecto.

El objetivo de la experiencia de laboratorio es simular los efectos de la lluvia ácida sobre la vegetación. Para ello, se introduce una hoja en cada matraz Erlenmeyer de 250 mL. En uno de los matraces se simulará una lluvia convencional, añadiendo sólo agua destilada, mientras que en el otro se simulará la lluvia ácida, mediante la producción de NO_2 .

Para la simulación de la lluvia ácida, se introduce una pequeña cantidad de cobre en polvo en un tubo de ensayo y se añaden unas gotas de ácido nítrico concentrado. Inmediatamente, se observa la reacción de oxidación del cobre, que libera dióxido de nitrógeno, un gas amarillo anaranjado. Rápidamente, se conecta el tubo de ensayo al matraz Erlenmeyer mediante un delgado tubo de vidrio, de manera que el gas fluye hacia

el interior del matraz. Durante la reacción, el contenido del tubo de ensayo adquiere un tono azulado, lo que indica la formación del nitrato de cobre (II).

Tras esperar unos minutos para que la reacción finalice, se desconecta el tubo de ensayo, y se tapa el matraz con un tapón para evitar la liberación del gas al ambiente. A continuación, se añaden aproximadamente 100 mL de agua destilada en el matraz, simulando así la reacción del NO_2 con la humedad atmosférica y formando una disolución incolora de ácido nítrico (HNO_3) y ácido nitroso (HNO_2). Tras ello, volvemos a tapar el matraz y se agita vigorosamente hasta que no se observe el gas amarillento, indicando su disolución completa en medio acuoso.

Finalmente, se comprueba el pH de ambas disoluciones, añadiendo unas gotas del indicador rojo de metilo en cada uno de los matraces. En el matraz que simula la lluvia ácida, la disolución adquiere una coloración rojiza, correspondiente a un pH inferior a 4,2, mientras que en el matraz con agua destilada (lluvia convencional), el color observado es amarillo, lo que indica un pH superior a 6,3. Además, la hoja contenida en el matraz con pH más ácido mostró un deterioro en sus bordes, similar a una quemadura; mientras que la hoja en el matraz de agua destilada no sufrió deterioro. Esta comparación permite observar de forma directa los efectos de la acidificación ambiental sobre la vegetación. En la figura 7 pueden observarse algunas etapas del experimento.

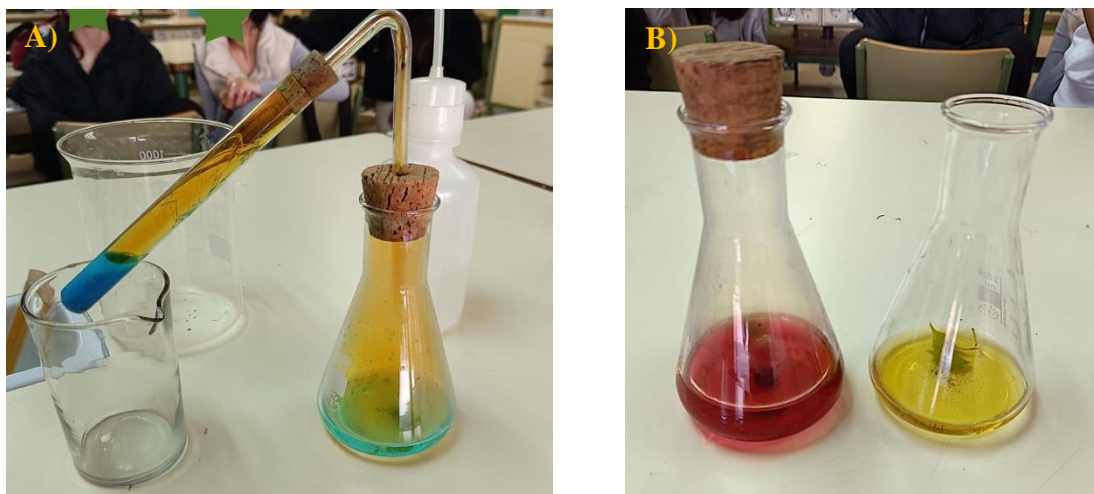


Figura 7. A) Montaje experimental de la práctica de laboratorio "Simulación de lluvia ácida" B) A la izquierda, el matraz donde se ha simulado la lluvia ácida, de color rojo debido al indicador rojo de metilo, y a la derecha el matraz donde se ha simulado una lluvia convencional, de color amarillo debido al mismo indicador.

5.4.2. Vinculación didáctica con la contaminación atmosférica

El proceso descrito simula lo que ocurre en la atmósfera cuando los óxidos de nitrógeno y azufre liberados por fuentes antropogénicas como la industria o el tráfico se combinan con el vapor de agua atmosférico, generando precipitación ácida.

Esta experiencia de laboratorio introduce el fenómeno de la contaminación atmosférica como una consecuencia directa de determinadas actividades industriales y del uso masivo de combustibles fósiles.

La contaminación atmosférica, entendida como la presencia de sustancias que alteran la composición natural del aire y suponen un riesgo para la salud y el medio ambiente, constituye uno de los principales problemas ambientales actuales. Esta práctica muestra a los estudiantes cómo ciertos procesos químicos están directamente relacionados con fenómenos medioambientales de gran impacto, como la degradación de los suelos, la pérdida de biodiversidad o la acidificación de ecosistemas acuáticos y terrestres.

El hecho de que la simulación se realice con materiales accesibles y resultados visibles, como el cambio de color producido por el indicador de pH o el deterioro de las hojas vegetales, logra que el alumnado visualice de forma directa los efectos perjudiciales de la lluvia ácida sobre los ecosistemas terrestres.

Además, se refuerza la comprensión de los procesos químicos implicados en la acidificación del medioambiente, explicando que la emisión de gases como los óxidos de azufre (SO_x) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) en la atmósfera, dan lugar a la formación de ácidos fuertes como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el ácido nítrico (HNO_3), que precipitan disueltos en el agua de lluvia. Con esta actividad práctica se observó cómo el alumnado comprendió mejor las consecuencias de las acciones humanas, llegando incluso a realizar un debate en el aula.

5.5. Cuestionario de valoración global de la propuesta didáctica

Para comprobar si el alumnado ha comprendido los conceptos abordados en las sesiones de laboratorio y determinar cómo perciben la ciencia, se diseñó un cuestionario de ideas previas que fue aplicado tanto antes (pre-test) como después (post-test) de la intervención didáctica. El pre-test consta de trece preguntas de opción múltiple, siendo once de ellas sobre conceptos teóricos de cada uno de los temas mencionados (nanotecnología, tierras raras, lluvia ácida y tensión superficial), una acerca de su percepción de la ciencia, y una última cuestión sobre su intención de seguir estudiando ciencias en el futuro. Por otro lado,

en el post-test se incluyeron las mismas preguntas, pero en este caso, se añadió una cuestión destinada a conocer su opinión acerca de los experimentos realizados. Finalmente, en un apartado denominado “Observaciones” en el post-test, los estudiantes podían indicar cualquier idea que consideraran oportuna.

En el pre-test, la mayoría de los estudiantes mostraron un conocimiento muy limitado sobre los conceptos, lo cual era de esperar ya que no los habían tratado en profundidad hasta el momento. De hecho, ninguno acertó más de seis preguntas sobre las once planteadas, y la mayoría solo contestó bien a tres, como se muestra en la figura 8. Sin embargo, tras haber realizado las actividades prácticas, y haber debatido sobre los diferentes temas, se observó una mejora sustancial de los resultados en el post-test. En este caso, no hubo ningún estudiante que acertara menos de cinco cuestiones, y la mayoría de ellos contestó correctamente a nueve, como se observa en la figura 9.

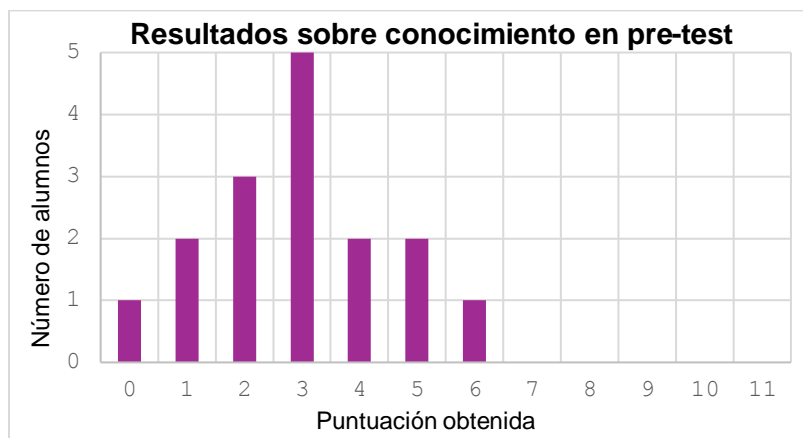


Figura 8. Resultados sobre los conceptos teóricos en el pre-test



Figura 9. Resultados del post-test sobre los conceptos teóricos abordados en el laboratorio

Como se ha mencionado, estos resultados muestran una mejora significativa en la comprensión de los diferentes contenidos por parte del alumnado. De hecho, el 100% de los estudiantes que realizaron ambos test mejoraron sus resultados, lo que indica que la metodología empleada fue eficaz para lograr la comprensión profunda de los diferentes temas.

Si nos centramos en cada pregunta del cuestionario de forma individual, se comprueba también una mejora de los resultados en cada una de ellas.

En el caso de la pregunta 1 “¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre los materiales a escala nanométrica es correcta?”, los resultados obtenidos en cada test se muestran en la figura 10:

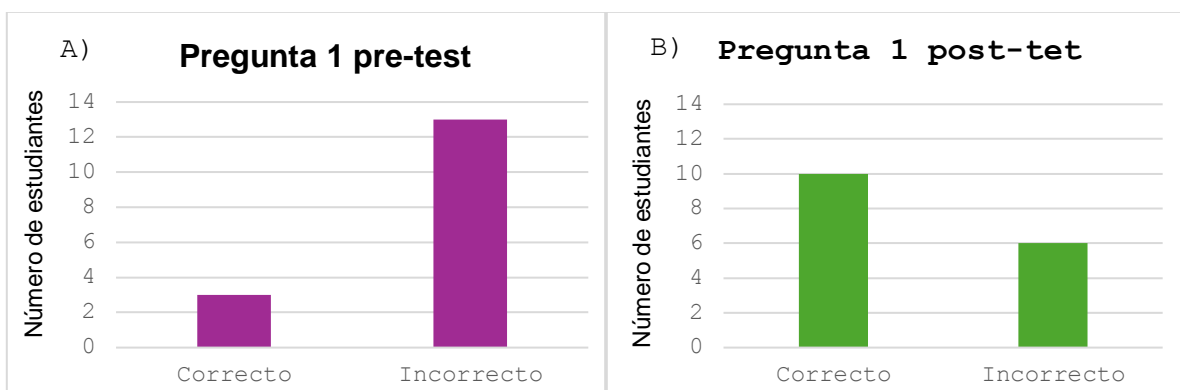


Figura 10. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 1 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 1 del post-test.

Para la segunda pregunta “¿Qué es la nanotecnología?”, los resultados obtenidos se muestran en la figura 11 :

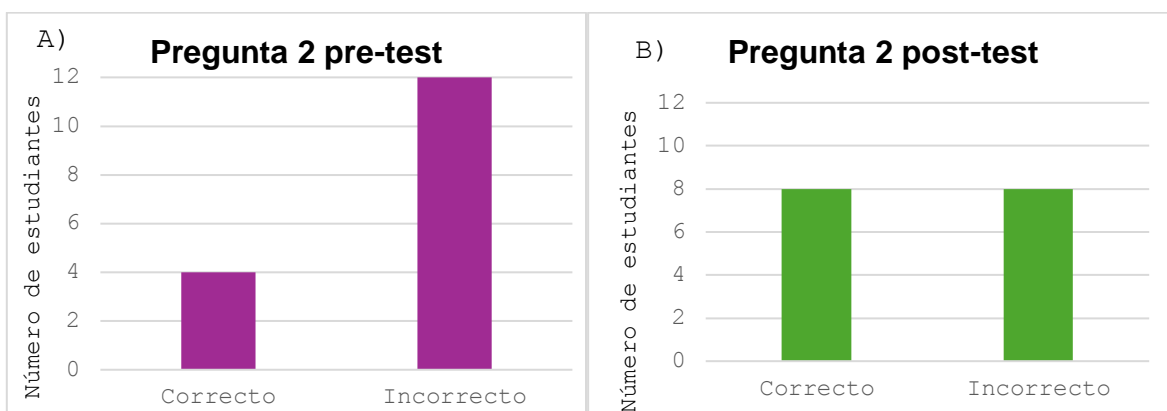


Figura 11. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 2 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 2 del post-test.

En cuanto a la pregunta 3 “¿Qué son las tierras raras?”, se muestran los resultados de cada test a en la figura 12:

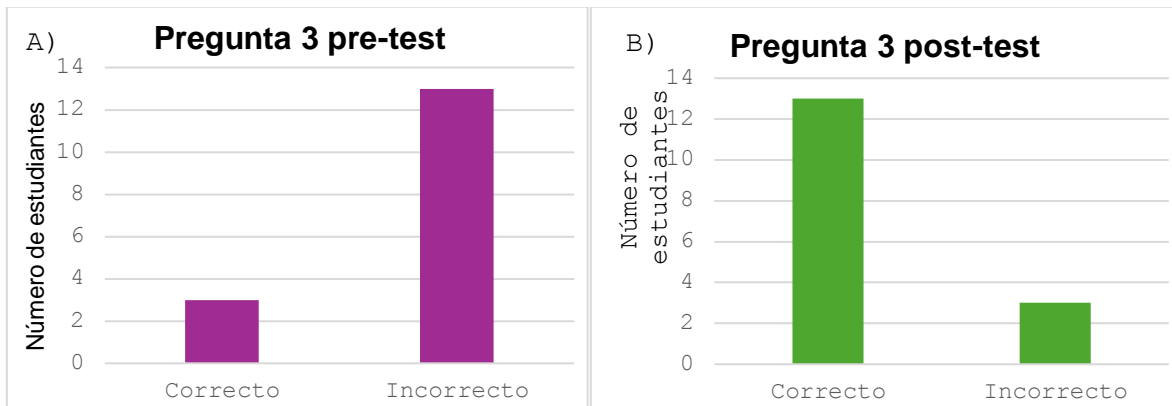


Figura 12. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 3 del pre-test. B) Número de acierto y errores en la pregunta 3 del post-test.

Los resultados obtenidos de la pregunta 5 “¿Por qué son importantes las tierras raras en tecnología?” se exponen en la figura 13:

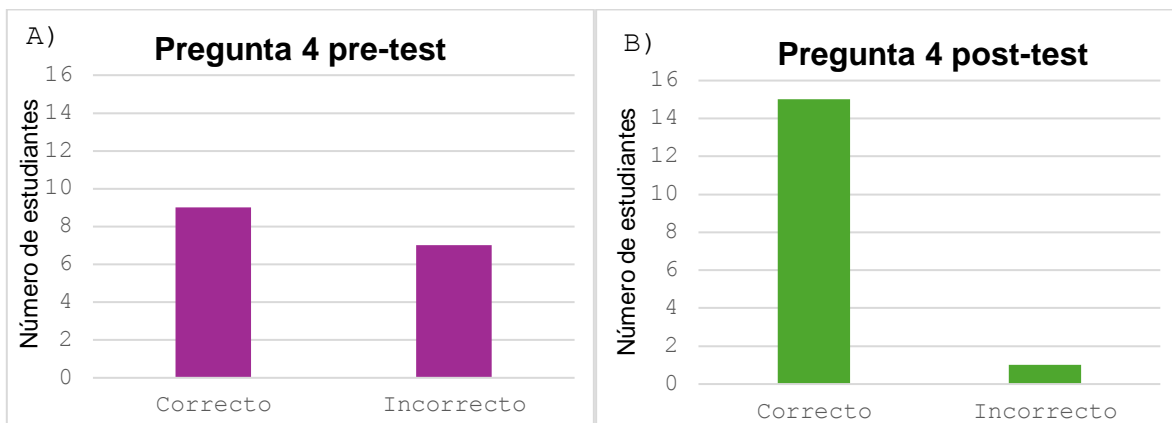


Figura 13. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 4 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 4 del post-test.

Los resultados a la pregunta 5 “¿Cuál es un problema asociado a las tierras raras?”, se muestran en la figura 14:

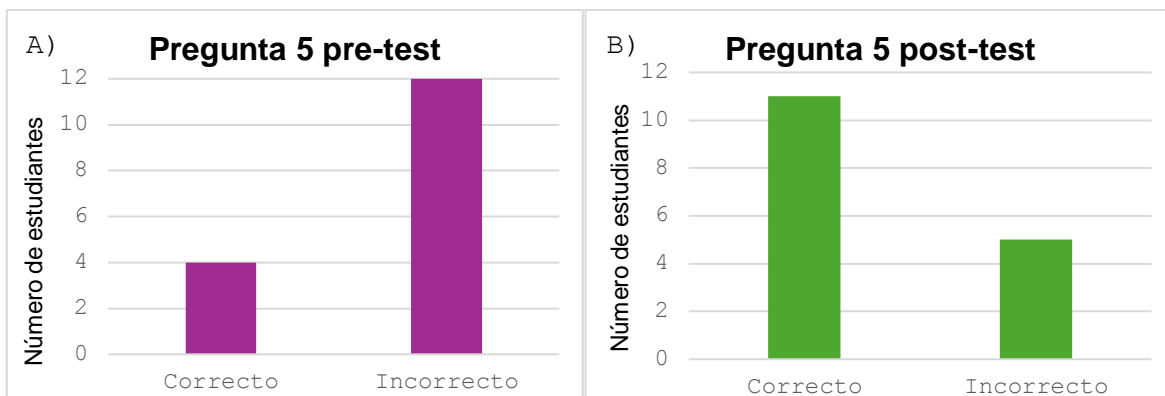


Figura 14. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 5 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 5 del post-test

La pregunta 6, “¿Por qué los imanes de neodimio son más potentes que los comunes?”, tiene como resultados los que se observan en la figura 15:

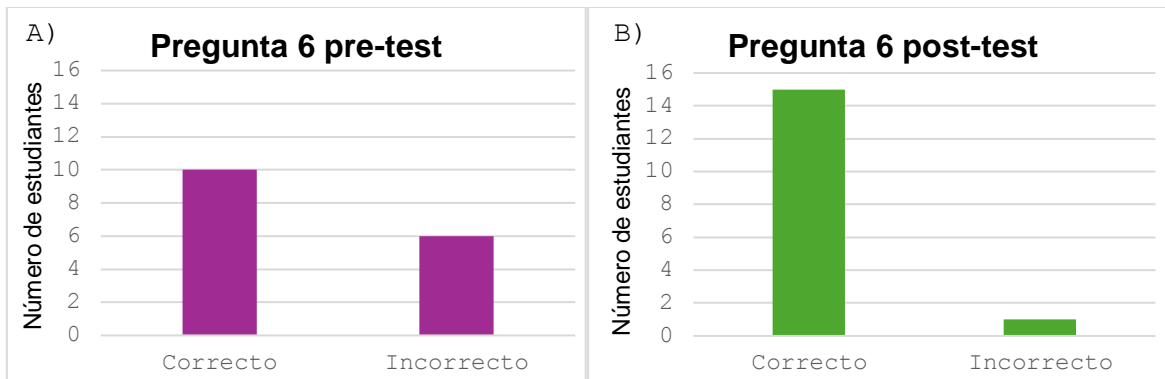


Figura 15. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 6 del pre-test. B) Número de aciertos y errores de la pregunta 6 del post-test.

En cuanto a los resultados de la cuestión 7, “¿Qué es la tensión superficial”, se exponen en la figura 16:

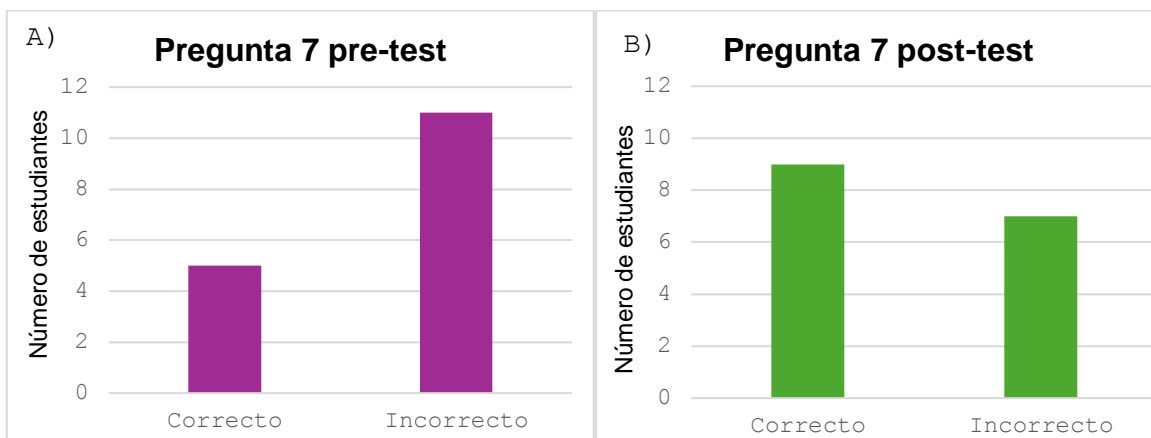


Figura 16. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 7 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 7 del post-test.

La pregunta 8, “¿Cuál de las siguientes sustancias disminuye la tensión superficial del agua?”, tiene los resultados que se observan en la figura 17:

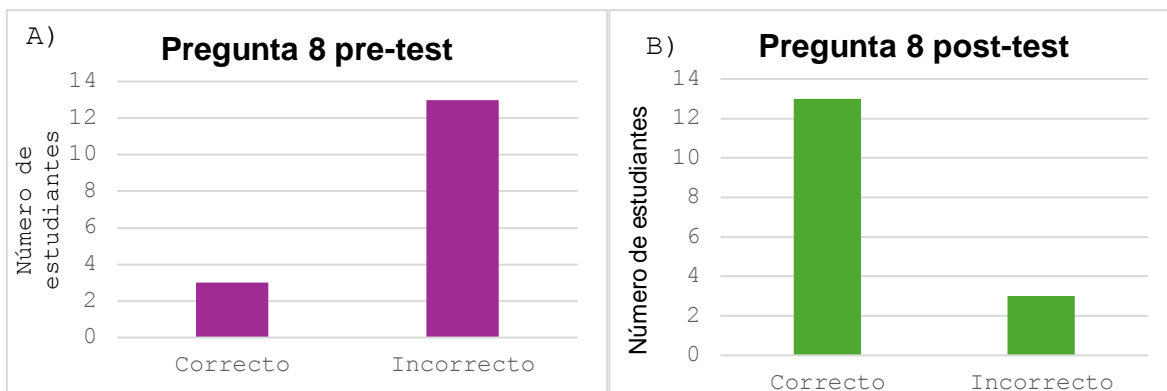


Figura 17. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 8 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 8 del post-test.

El número de aciertos a la pregunta 9, “¿Dónde se evidencian mayores fuerzas intermoleculares del líquido?” en cada uno de los cuestionarios se muestra en la figura 18:

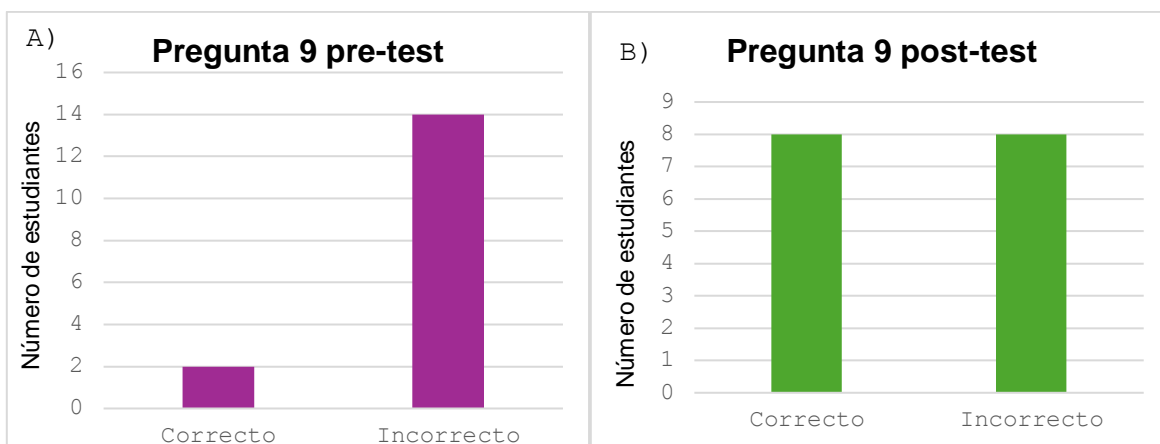


Figura 18. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 9 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 9 del post-test.

Los resultados de la cuestión 10, “¿Cuál es el pH aproximado de la lluvia ácida?”, se muestran en la figura 19:

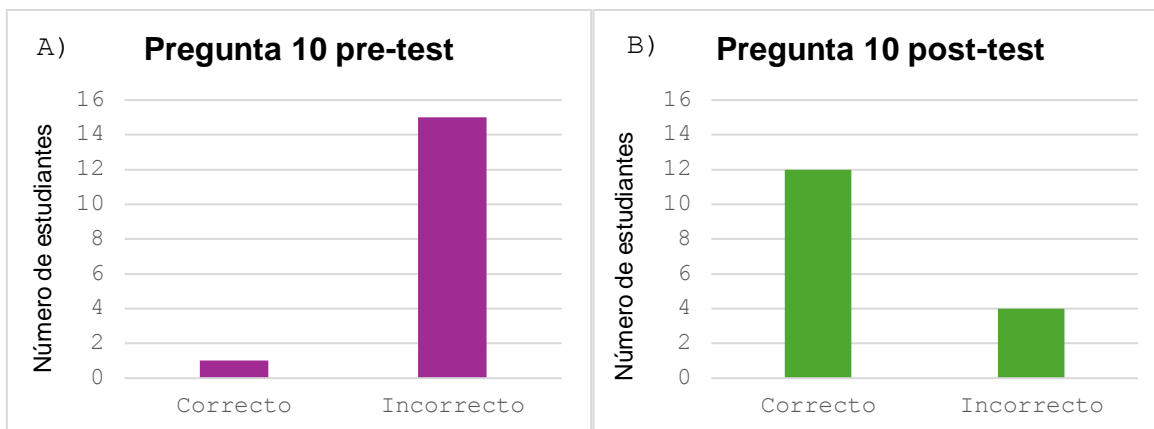


Figura 19. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 10 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 10 del post-test.

Finalmente, los resultados de la cuestión 11, “¿Cómo contribuye la contaminación atmosférica a la formación de lluvia ácida?” se recogen en la figura 20:

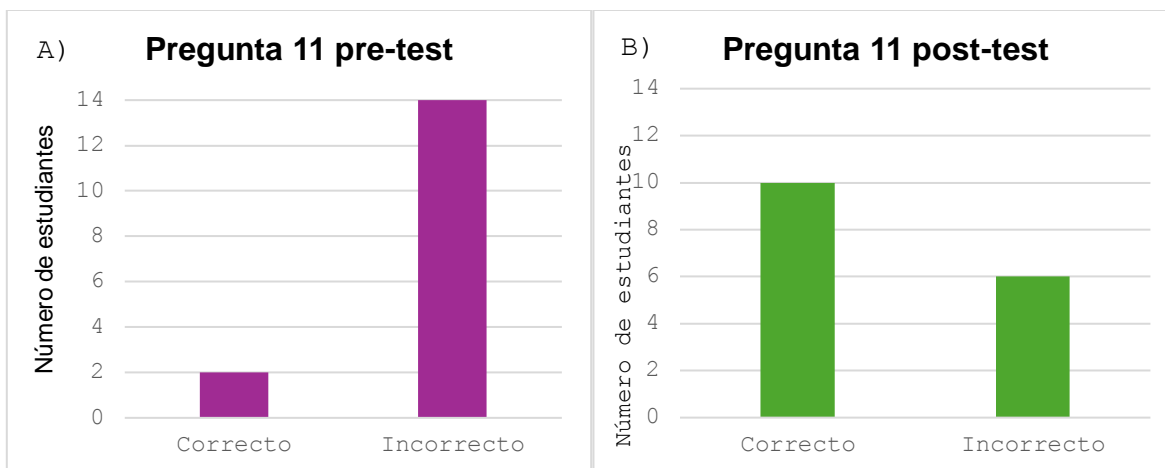


Figura 20. A) Número de aciertos y errores en la pregunta 11 del pre-test. B) Número de aciertos y errores en la pregunta 11 del post-test.

Con lo expuesto anteriormente, se comprueba que la mayoría de los conceptos teóricos no eran conocidos por el alumnado, aunque en el caso de las preguntas 4 y 6 sobre tierras raras, hubo un mayor porcentaje de estudiantes que respondió correctamente a pesar de no haber tratado el tema anteriormente. Esto pudo deberse a que la opción correcta era más intuitiva que las demás, ya que manifestaron no haber oído hablar de este tema.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el post-test muestran una mejora significativa en todos los casos. A pesar de esta mejora, en la pregunta 9 sobre tensión superficial, la mitad del alumnado escogió la opción incorrecta, lo que sugiere que la explicación dada en la sesión no fue comprendida en su totalidad.

Se presentan a continuación los datos de aciertos y errores con sus respectivos porcentajes de los cuestionarios realizados en función de las temáticas tratadas. Las figuras 21 y 22 visualizan claramente la evolución positiva en la comprensión y consolidación de los conceptos tratados. De todas las temáticas, la que presenta una mayor mejora es la de lluvia ácida, y ello como consecuencia del escaso conocimiento previo que presentaba el alumnado.

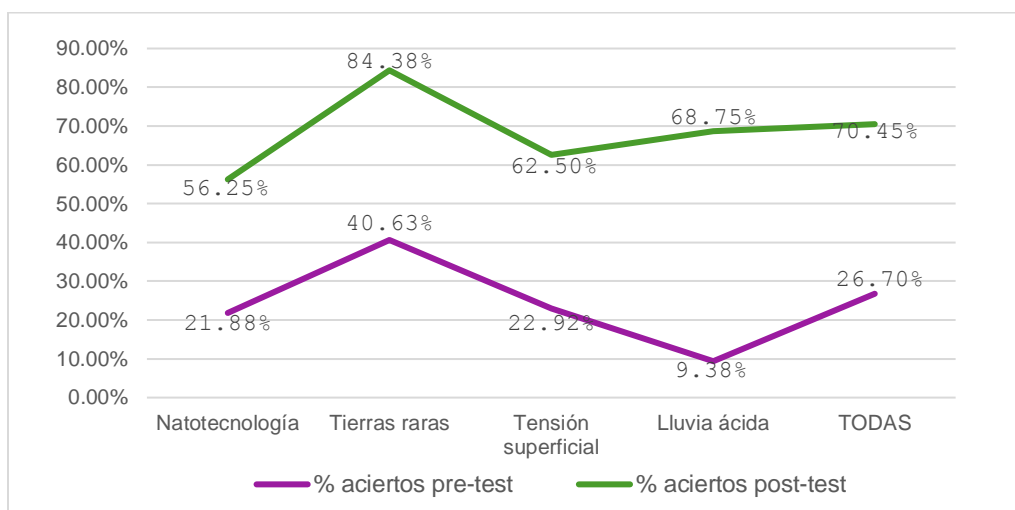


Figura 21. Evolución del porcentaje de aciertos por temática entre el pre-test y el post-test.

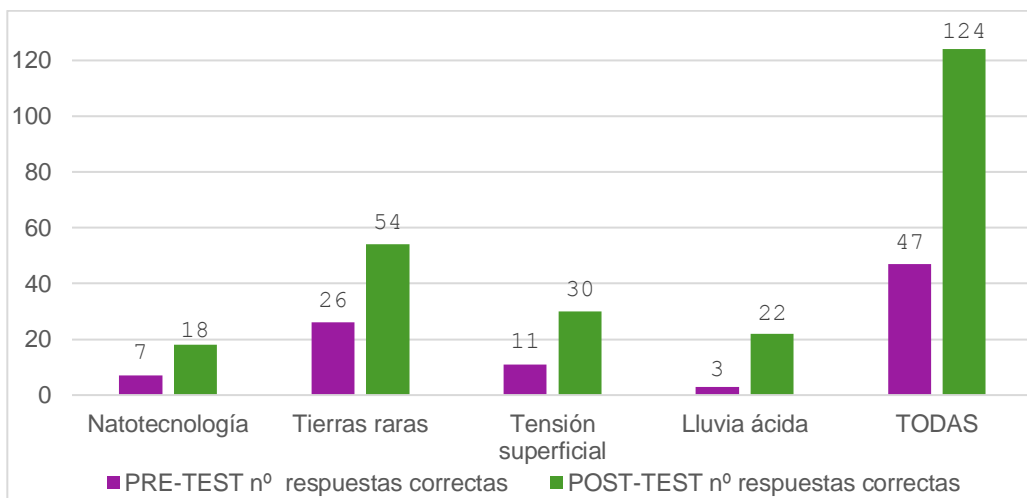


Figura 22. Número de aciertos antes y después de la intervención didáctica por temática.

Aun siendo conscientes de que se trata de un estudio de caso, concluimos de esta forma lo que pretende demostrar este trabajo, la importancia del uso de una metodología experimental, más cercana a los intereses del estudiantado, que logra de forma más eficaz y significativa el aprendizaje de una materia de por sí complicada y habitualmente alejada de su vida diaria

En cuanto a las respuestas sobre la visión del alumnado de la ciencia, se observó que en algunos casos había un cambio positivo en la misma. En el pre-test se comprobó que la mayoría de estudiantes de la modalidad “Científica” mostraban una actitud muy positiva hacia la ciencia, y la consideraban relevante y necesaria en su día a día. Por otro lado, algunos estudiantes de la modalidad de “Humanidades” mostraron una actitud más negativa, manifestando que se trataba de algo poco necesario o de una rama específica para los científicos.

Con el post-test, se pudo determinar que todos aquellos estudiantes que partían de una actitud positiva hacia la ciencia, la mantuvieron tras las explicaciones teóricas y realización de los experimentos en el laboratorio. Sin embargo, algunos de los que comenzaron con una visión más negativa hacia esta disciplina, variaron ligeramente su percepción hacia una más positiva, reflejándose un aumento en la sensación de utilidad y cercanía de la ciencia.

La pregunta realizada para comprobar esta visión fue la 12 del Anexo 1. En la figura 23, se muestran las respuestas del alumnado en el pre-test, mientras que en la figura 24, se muestran las respuestas en el post-test, donde los apartados (a), (b), (c) y (d), corresponden a las siguientes afirmaciones:

- (a) Algo lejano y poco relevante en mi día a día
- (b) Algo interesante, pero que sólo aplican los científicos
- (c) Algo útil que está presente en muchas cosas, aunque no siempre lo noto
- (d) Algo esencial que me ayuda a entender el mundo y tomar decisiones

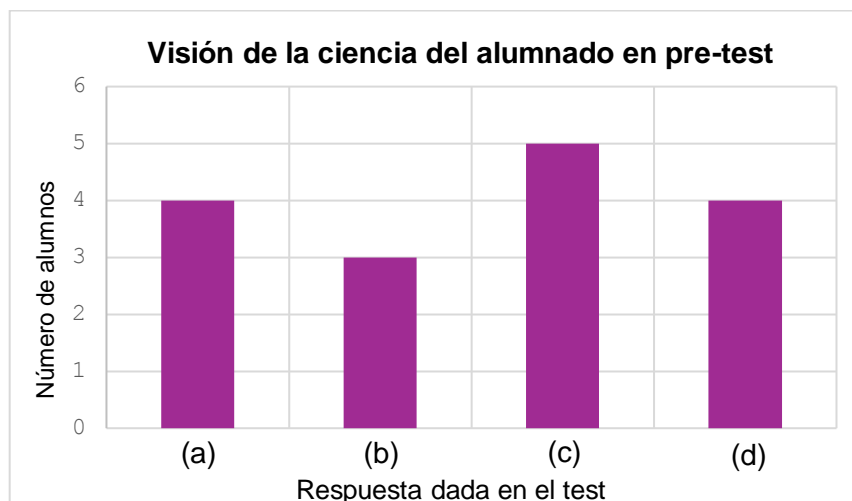


Figura 23. Resultados sobre la visión de la ciencia del alumnado en el pre-test

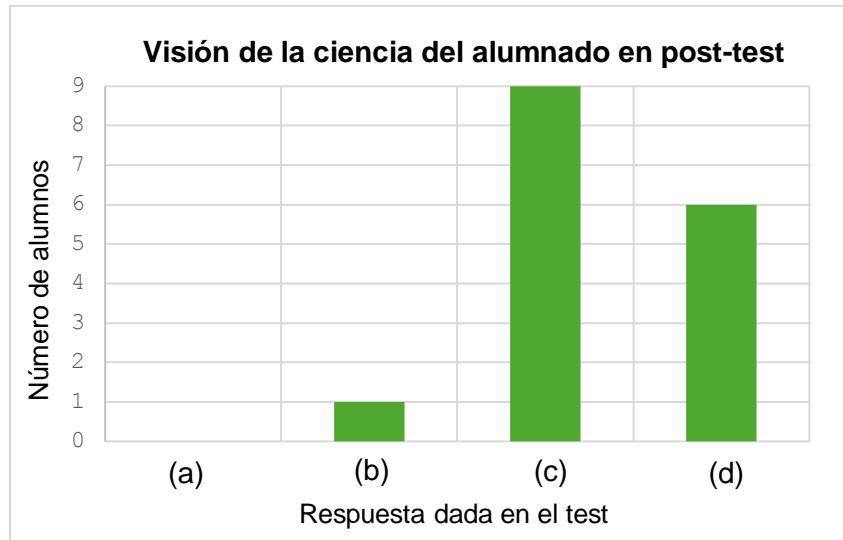


Figura 24. Resultados sobre la visión de la ciencia del alumnado en el post-test

Estos resultados indican que la intervención didáctica fue en general motivadora para los estudiantes, y fomentó una actitud hacia la ciencia más positiva y realista.

Por otro lado, en cuanto a la cuestión sobre su intención estudiar ciencias en un futuro, ningún estudiante modificó su respuesta del pre-test al post-test. La mayoría de estudiantes de la modalidad de “Humanidades” manifestó que no le interesaba el ámbito científico como carrera profesional, mientras que la mayor parte del alumnado de la modalidad científica mostró que continuarían sus estudios en este campo. De este modo, se puede decir que la propuesta didáctica no fue lo suficientemente motivadora como para que algún estudiante se planteara cambiar a la especialidad de ciencias.

Finalmente, en la última pregunta del cuestionario entregado tras llevar a cabo las prácticas de laboratorio, casi todas/os las/los estudiantes manifestaron que los experimentos les habían resultado especialmente entretenidos, además de claros y explicativos. Sólo dos estudiantes, manifestaron no haber llegado a comprender del todo el fundamento, a pesar de haberles parecido entretenidas las actividades. En cuanto a las observaciones, tan solo 2 alumnas utilizaron el espacio sugerido para añadir algún comentario, siendo ambos positivos. Las aportaciones se muestran en el Anexo 2.

En resumen, el cuestionario resultó ser una herramienta útil para evaluar el progreso en cuanto a conocimiento adquirido del alumnado, así como para concluir que la propuesta didáctica tuvo un impacto positivo en su actitud hacia la ciencia.

5.6. Relación de los resultados obtenidos con la profesión docente

El currículo oficial de Educación Secundaria Obligatoria establece que la enseñanza debe orientarse hacia la adquisición de competencias por parte del alumnado, promoviendo metodologías activas que fomenten la implicación del estudiante en la construcción de conocimiento (BOE, 2022). En la propuesta didáctica planteada en este TFM, se desarrollan varias competencias claves, tales como la competencia personal, social y de aprender a aprender (CPSAA), la competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería (STEM) y la competencia ciudadana (CC).

La propuesta desarrollada en el aula, basada en la realización de prácticas experimentales vinculadas a fenómenos actuales, resalta la importancia del papel del profesor como guía entre el saber científico y la realidad social del alumnado. Este enfoque permite trabajar los contenidos curriculares de manera más comprensible y promueve la alfabetización científica y el compromiso con el medioambiente y la sociedad del alumnado.

Desde el punto de vista profesional, esta experiencia me ha ayudado a valorar la importancia de implementar situaciones de aprendizaje que conecten el conocimiento científico con los retos del mundo actual que afectan al alumnado como parte de la sociedad. Esto requiere estar en constante actualización y reflexionar sobre la práctica docente, así como implementar un enfoque interdisciplinar y el uso de materiales innovadores.

Los resultados obtenidos a partir del cuestionario aplicado antes y después de la intervención, junto con las observaciones realizadas durante las sesiones, señalan que la experimentación contextualizada mejora la comprensión de conceptos de física y de química, y al mismo tiempo aumenta la motivación y participación del alumnado. En este sentido, la propuesta puede servir como referencia para otros docentes que quieran implementar actividades con una perspectiva ética y social.

5.7. Limitaciones del estudio

Este trabajo se plantea como un estudio de caso, lo que significa que su propósito principal es observar y analizar una experiencia educativa concreta desarrollada con un grupo específico de alumnas/os de 4º de ESO. No se trata, por tanto, de una investigación didáctica genérica, sino de una propuesta cuyo fin es explorar y evaluar un caso concreto, del cual se puede obtener información útil para la práctica docente.

Como se trata de una propuesta innovadora, los resultados obtenidos por parte del alumnado no se han tenido en cuenta en la evaluación final, lo que implica que no tenemos un *feedback* académico fijo, más allá de la observación directa y el cuestionario realizado.

Una de las principales limitaciones del trabajo reside en el número de estudiantes involucrados, que no era demasiado extenso. La intervención se llevó a cabo únicamente con un grupo de “Proyecto de Física y Química” de 4º de ESO del IES Emperatriz María de Austria, formado por dieciséis estudiantes. Dado que los resultados obtenidos reflejan una realidad muy concreta, condicionada por el contexto educativo y por las características particulares del alumnado, no se pueden generalizar a otros centros, niveles educativos o momentos del curso.

Igualmente, el cuestionario utilizado para determinar el aprendizaje conceptual del alumnado y su actitud hacia la ciencia fue de elaboración propia. Es decir, fue creado específicamente para este TFM, en función de los contenidos trabajados y los objetivos planteados. Aunque su estructura fue revisada para garantizar coherencia y rigor científico, no se trata de un instrumento validado científicamente, por lo que los resultados deben interpretarse con precaución.

Por otro lado, el tiempo disponible para llevar a cabo la intervención fue limitado, ya que se encontraba dentro del periodo del *Practicum*. Esto, unido a que se comenzaron las sesiones de laboratorio antes de lo previsto por problemas personales del tutor del centro, condicionó la elaboración y profundidad del tratamiento de los temas seleccionados, así como el número de sesiones de laboratorio.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos en el estudio han sido satisfactorios, al aportar indicios del potencial que tiene integrar ciencia de actualidad a través de la experimentación científica en la motivación, la alfabetización científica y el pensamiento crítico en el alumnado.

5.8. Futuras líneas de trabajo

Durante la intervención realizada, los guiones de laboratorio fueron una herramienta útil y no se detectó ninguna incidencia, lo que indica que la propuesta es fácilmente replicable. A partir de esto, sería posible diseñar nuevas actividades o adaptar las ya existentes, buscando otras problemáticas emergentes que puedan despertar el interés del alumnado y fomentar nuevos aprendizajes.

Tras poner en práctica la propuesta didáctica, se abre una oportunidad interesante para seguir explorando formas de enseñanza innovadoras que conecten ciencia con temáticas sociales y actuales. Una primera posibilidad sería ampliar esta misma intervención a otros grupos del centro, o incluso en otros centros educativos, tanto en el mismo nivel educativo como en cursos superiores o inferiores, con el fin de analizar si los resultados observados en este trabajo se mantienen o varían según la edad, el contexto de la clase o el centro y el momento del curso.

Otra futura línea de trabajo podría ser la coordinación interdepartamental. Las temáticas abordadas con el alumnado que se plantean en este TFM, no solo tienen relevancia desde el punto de vista científico, sino que también pueden y deben ser interpretadas desde otros marcos, como el ético, el histórico o el social. Por ello, sería conveniente trabajar con otros departamentos para vincular estas actividades desde otro enfoque. Por ejemplo, con el departamento de Geografía e Historia se podrían abordar las implicaciones geopolíticas de los recursos estratégicos, o las principales causas de la crisis de los refugiados; con el departamento de Filosofía se podría reflexionar sobre el rol de la ética en la ciencia y en los efectos migratorios; o con el de Tecnología, para profundizar en las aplicaciones de las tierras raras, o en el fundamento de la nanotecnología; e incluso se podría trabajar con el departamento de Lengua y Literatura, para analizar artículos de prensa actuales y argumentar de forma escrita, de manera que se puedan ir renovando los temas de interés en función de lo que ocurra en el entorno de la sociedad, y por tanto, del alumnado.

6. Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos tras poner en marcha la propuesta didáctica, podemos afirmar que se han logrado los objetivos inicialmente establecidos en este TFM. Esto es, diseñar una serie de guiones de laboratorio, así como desarrollar y poner en práctica una metodología de aprendizaje acorde a las demandas del siglo XXI, destinados a un grupo de 4º de ESO en la optativa de “Proyecto de Física y Química” del IES Emperatriz María de Austria. Esta intervención se llevó a cabo sin incidencias, y se lograron incorporar algunos conceptos teóricos de química y física con fenómenos de actualidad.

Además, la propuesta didáctica ha demostrado el potencial de las actividades prácticas para conseguir la alfabetización científica, promover un pensamiento crítico y fomentar la motivación y la actitud positiva del alumnado hacia la ciencia, integrando aspectos relevantes para la sociedad a través de la experimentación. Para evaluar los efectos de

esta propuesta, se realizó una comparación entre los cuestionarios entregados antes y después de las sesiones prácticas. Se comprobó así, que la mejora en las respuestas era sustancial y que el alumnado, por lo general, mostraba mayor interés e implicación por el ámbito científico. Todo ello demuestra lo que se expone en la literatura examinada, en lo relativo a la necesidad e importancia de abordar el aprendizaje de las ciencias desde la experimentación, fomentando de esta forma la consolidación de conocimiento y la conciencia crítica y la sensibilidad a los problemas que afectan a nuestro entorno.

Quiero destacar también, lo que este trabajo ha significado para mi futuro profesional en el ámbito educativo. He logrado iniciarme en el potencial que supone la utilización de propuestas innovadoras, y he podido reflexionar sobre la práctica docente en la que, incluso ante la escasez de tiempo y de recursos materiales, se puede potenciar la enseñanza de las ciencias a través de metodologías activas y vinculadas con el día a día de los estudiantes.

7. Referencias bibliográficas

Abad, V., & Sagredo, J. (2018). Evolución y proceso de fabricación de imanes “NEO” aplicados a motores de vehículos eléctricos. *Revista de metalurgia*, 54(3), e127. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.127>

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2023). La calidad del aire en Europa – Informe 2023 (EEA Report No 13/2023). <https://www.eea.europa.eu/es/publications/la-calidad-del-aire-en-europa-2023>

Álvarez Calderón, C. E., & Trujillo Palacio, J. H. (2020). Geopolítica de las tierras raras: un recurso natural estratégico para la seguridad multidimensional del Estado. *Revista científica General José María Córdova*, 18(30), 335-355. <https://doi.org/10.21830/19006586.587>

Ataz, E. M., & de Mera Morales, Y. D. (2004). *Contaminación atmosférica*. Univ de Castilla La Mancha.

Atkins, P. W., de Paula, J., & Keeler, J. (2022). *Atkins' physical chemistry* (12ª ed.). Oxford University Press.

Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston: New York.

Ball, P. (2024). Beyond rare earths. *Nature Materials*, 23(3), 303. <https://doi.org/10.1038/s41563-024-01829-9>

BBC News Mundo. (2025, 30 de abril). *EE.UU. y Ucrania firman un histórico acuerdo para la explotación de minerales en la nación europea*. <https://www.bbc.com/mundo/articles/ckg1ddkjm7no>

Binnig, G., & Rohrer, H. (1983). Scanning tunneling microscopy. *Surface Science*, 126(1-3), 236-244. [https://doi.org/10.1016/0039-6028\(83\)90716-1](https://doi.org/10.1016/0039-6028(83)90716-1)

Carrera, S., & Cortinovis, R. (2019). *Search and rescue, disembarkation and relocation arrangements in the Mediterranean: Sailing away from responsibility?* (CEPS Paper in Liberty and Security in Europe No. 2019-10). Centre for European Policy Studies. <https://www.ceps.eu/ceps-publications/search-and-rescue-disembarkation-and-relocation-arrangements-in-the-mediterranean/>

Daniel, M.-C., & Astruc, D. (2004). Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology. *Chemical Reviews*, 104(1), 293-346. <https://doi.org/10.1021/cr030698+>

Encinas Malagón, M. D. (2009). *Fundamentos de medio ambiente* (1ª ed.). <https://addi.ehu.es/handle/10810/18285>

Espinosa-Ríos, E. A., González-López, K. D., & Hernández-Ramírez, L. T. (2016). Las prácticas de laboratorio. *Entramado*, 12(1), 266-281. <https://doi.org/10.18041/entramado.2016v12n1.23125>

García-Martínez, Á. & Pinilla, J. (2007). Orientaciones curriculares para el campo de Ciencia y Tecnología.

Gil Pérez, D., Furió-Mas, C., Valdés Castro, P., Salinas, J., Martínez Torregrosa, J., Guisasola Aranzabal, J., González, E. M., Dumas-Carré, A., Goffard, M., & Pessoa de Carvalho, A. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y Experiencias didácticas*, 17(2), 311-320. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4094>

Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde. *Revista repertorio de medicina y cirugía*, 27(2). <https://doi.org/10.31260/repertmedcir.v27.n2.2018.191>

- Graedel, T. E., Harper, E. M., Nassar, N. T., & Reck, B. K. (2013). On the materials basis of modern society. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(20), 6295-6300. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312752110>
- Gupta, A. K., Naregalkar, R. R., Vaidya, V. D., & Gupta, M. (2007). Recent Advances on Surface Engineering of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles and Their Biomedical Applications. *Nanomedicine*, 2(1), 23-39. <https://doi.org/10.2217/17435889.2.1.23>
- Guxens, M., Lubczynska, M. J., Perez-Crespo, L., Muetzel, R. L., El Marroun, H., Basagana, X., Hoek, G., & Tiemeier, H. (2022). *Associations of Air Pollution on the Brain in Children: A Brain Imaging Study*. (209 ed.) Research report (Health Effects Institute) <https://www.healtheffects.org/publication/associations-air-pollution-brain-children-brain-imaging-study>
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2023). Applications of nanotechnology in medical field: a brief review. *Global Health Journal*, 7(2), 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2023.02.008>
- Hodson, D. (1993). Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85-142. <https://doi.org/10.1080/03057269308560022>
- Kasemo, B. (2002). Biological surface science. *Surface Science*, 500(1–3), 656-677. [https://doi.org/10.1016/s0039-6028\(01\)01809-x](https://doi.org/10.1016/s0039-6028(01)01809-x)
- Linares, C., Díaz, J., Negev, M., Martínez, G. S., Debono, R., & Paz, S. (2020). Impacts of climate change on the public health of the Mediterranean Basin population-current situation, projections, preparedness and adaptation. *Environmental research*, 182, 109107.
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry. *Molecules*, 28(2), 661. <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>
- Molina-Ruiz, N., & González-García, P. (2021). Ciencias naturales y aprendizaje socioemocional: una experiencia desde la enseñanza de las ciencias basada en la indagación. *Revista Saberes Educativos*, 6, 25. <https://doi.org/10.5354/2452-5014.2021.60683>
- Monserrat Jover, M. R., Cantó Doménech, J., & Solbes Matarredona, J. (2025). El uso de las cuestiones sociocientíficas para mejorar la imagen de la ciencia y el interés del

alumnado de ESO. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación De Las Ciencias*, 22(1), 1101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i1.1101

Múgica Álvarez, V. (Ed.). (2023). *Química de los contaminantes atmosféricos* (Libro número 1). Ciudad de México: Sociedad Química de México

Nacenta, P. [madrimasd] (28 de marzo de 2025). *Vayas donde vayas, vallas: tensión en las fronteras, con Pablo Nacenta de RSEF y DEDF* [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=r2bgb1Whhd0>

Novak, J. D., Gowin, D. B., & Otero, J. (2002). *Aprendiendo a aprender*.

Noval, V. E., Ochoa Puentes, C., & Carriazo, J. G. (2017). Magnetita (Fe_3O_4): Una estructura inorgánica con múltiples aplicaciones en catálisis heterogénea. *Revista Colombiana de Química*, 46(1), 42-59. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042017000100042

Oliva Martínez, J. M., Matos, J., Bueno, E., Bonat, M., Domínguez Castiñeiras, J. M., Vázquez, A., & Acevedo Díaz, J. A. (2004). Las exposiciones científicas escolares y su contribución en el ámbito afectivo de los alumnos participantes. *Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 22(3), 425-439. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3874>

Osorio Herrera, L. N. (2023). SIMULACIONES COMO HERRAMIENTAS DE APRENDIZAJE Y EXPERIMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES EN EDUCACIÓN SECUNDARIA. *Aquinas 'Scriptum Scientiam'*, 4(1). <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/aquinas/article/view/8224>

Parra García, S. C. (2019). Aprendiendo desde la emoción. *Infancias Imágenes*, 18(2), 285-294. <https://doi.org/10.14483/16579089.14532>

Piñeiro Aguiar, E., & Alfonso Bouhaben, M. A. (2023). Diversidad y otredad como construcciones político-visuales. Lecturas de vidas desplazadas desde el World Press Photo. *Migraciones internacionales*, 14. <https://doi.org/10.33679/rmi.v1i1.2650>

Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (1998): *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata

Prego Reboledo, R. (2022) *Las tierras raras, una pieza clave en el puzle de la energía*. Documento de Análisis IEEE 33/2022. https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2022/DIEEEA33_2022.pdf

Querol, X., Massagué, J., Alastuey, A., Moreno, T., Gangoiti, G., Mantilla, E., Duéñez, J. J., Escudero, M., Monfort, E., Pérez García-Pando, C., Petetin, H., Jorba, O., Vázquez, V., de la Rosa, J., Campos, A., Muñóz, M., Monge, S., Hervás, M., Javato, R., & Cornide, M. J. (2021). Lessons from the COVID-19 air pollution decrease in Spain: Now what? *The Science of the Total Environment*, 779, 146380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146380>

Quiroz Londoño, F. A. (2020). El papel de la reflexión y la mediación didáctica en la enseñanza de las ciencias naturales: un estudio de caso de profesores en formación. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 47, 161-178. <https://doi.org/10.17227/ted.num47-6558>

Ragheb, M. (2025). *Rare Earths and Critical Elements Resources*.

Ramírez Ramírez, G. E. (2023). El Papel de la Experimentación en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 632-652. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6222

Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, de 30 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>

Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, 82, de 6 de abril de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243/con>

Romero Ariza, M., & Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(1), 101-115. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.433>

Rua, A. M. L., & Alzate, Ó. E. T. (2012). LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134129256008>

Sanmarti Puig, N., & Márquez Bargalló, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice Revista de Educación Científica*, 1(1), 3–16. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>

- Silva Mesias, J. G., Coello Bone, J. E., Loja Loja, C. M., Serrano Ortega, G. F., & Castillo Pindo, B. M. (2023). Importancia de la experimentación en el proceso de enseñanza aprendizaje en los niveles de educación básica y bachillerato para potenciar el pensamiento crítico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 4825-4836. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6514
- Sosa, J. A., & Dávila, D. T. (2019). La enseñanza por indagación en el desarrollo de habilidades científicas. *Educación y Ciencia*, 23, 605-624. <https://doi.org/10.19053/0120-7105.eyc.2019.23.e10275>
- Uceda Yela, M. (2021). La construcción de muros y blindaje de fronteras de la Unión Europea ante la crisis de los refugiados*. *Revista de Estudios Europeos*, 79, 210-226. <https://doi.org/10.24197/ree.79.2022.210-226>
- Usán Supervía., P. & Salavera Bordás, C. (2018). Motivación escolar, inteligencia emocional y rendimiento académico en estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria. *Actualidades En Psicología*, 32(125), 95-112. <https://doi.org/10.15517/ap.v32i125.32123>
- Vázquez, Á., & Manassero, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 274-292. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i3.03
- Verma, P., Gromotka, Z., Yablonsky, G., Stokie, D., Constales, D., Kumfer, B., & Axelbaum, R. L. (2020). Optimizing complexity in the kinetic modelling of integrated flue gas purification for pressurized oxy-combustion. *Chemical Engineering Journal (Lausanne, Switzerland: 1996)*, 383(122875), 122875. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122875>
- Zamora Olivos, S. M., Segarra Merchán, S. R., González Encalada, S. A., & Vitonera Pazos, M. M. (2023). El aprendizaje significativo en la educación actual: una reflexión desde la perspectiva crítica. *Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0*, 27(1), 218-230. <https://doi.org/10.46498/reduipb.v27i1.1896>
- Zapp, P., Schreiber, A., Marx, J., & Kuckshinrichs, W. (2022). Environmental impacts of rare earth production. *MRS Bulletin*, 47(3), 267-275. <https://doi.org/10.1557/s43577-022-00286-6>
- Zumdahl, S. S., & DeCoste, D. J. (2012). *Principios de química (7ª ed.)*. Cengage Learning.

8. Anexos

Anexo 1: Test de ideas previas

NOMBRE:

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre los materiales a escala nanométrica es correcta?

- a) Tienen las mismas propiedades que a escala macroscópica, pero son más pequeños.
- b) Son menos reactivos que los materiales a escala macroscópica.
- c) Algunas propiedades, como el color o la reactividad, pueden cambiar en comparación con los materiales a escala macroscópica.
- d) No son visibles ni con un microscopio potente.

2. ¿Qué es la nanotecnología?

- a) El estudio y la manipulación de la materia a escala milimétrica.
- b) El estudio y la manipulación de la materia a escala atómica y molecular.
- c) El estudio de dispositivos electrónicos pequeños.
- d) El estudio de organismos microscópicos.

3. ¿Qué son las tierras raras?

- a) Óxidos formados por diferentes metales de transición que presentan buena conductividad.
- b) Un grupo de elementos de la tabla periódica difíciles de encontrar en forma pura.
- c) Materiales sintetizados en laboratorio que son radiactivos.
- d) Elementos difíciles de extraer que solo se encuentran en el núcleo terrestre.

4. ¿Por qué son importantes las tierras raras en tecnología?

- a) Porque son los únicos compuestos naturales que conducen la electricidad.
- b) Porque tienen un precio bajo .
- c) Porque poseen propiedades como el magnetismo o la luminiscencia.
- d) Porque son abundantes en la naturaleza.

5. ¿Cuál es un problema asociado a las tierras raras?

- a) El impacto ambiental de su minería, que genera residuos tóxicos.
- b) Su concentración en depósitos específicos, lo que causa tensiones geopolíticas.
- c) Su elevado coste debido a la dificultad de extracción y refinamiento.
- d) Todas las anteriores.

6. ¿Por qué los imanes de neodimio son más potentes que los comunes?

- a) Porque están formados por magnetita.
- b) Porque generan electricidad.
- c) Por su composición química (que incluye neodimio, hierro y boro) y su estructura cristalina.
- d) Por estar formados de diferentes metales de transición.


7. ¿Qué es la tensión superficial?

- a) Resistencia que presenta cualquier líquido a deformar su superficie.
- b) Es el ascenso o descenso de un líquido en un tubo.
- c) Es la resistencia de un líquido al mezclarse con otros líquidos debido a diferencias de densidad.
- d) Todas las anteriores.

- 8. ¿Cuál de las siguientes sustancias disminuye la tensión superficial del agua?**
- Jabón.
 - Sal común (NaCl)
 - Aceite.
 - Ácido clorhídrico.
- 9. ¿Dónde se evidencian mayores fuerzas intermoleculares del líquido?**
- Son iguales en cualquier punto del líquido.
 - En el seno del líquido.
 - En la superficie del líquido.
 - En el fondo del líquido.
- 10. ¿Cuál es el pH aproximado de la lluvia ácida?**
- 4
 - 7
 - 10
 - 13
- 11. ¿Cómo contribuye la contaminación atmosférica a la formación de lluvia ácida?**
- Los óxidos de azufre (SO_x) y de nitrógeno (NO_x) emitidos por industrias y vehículos reaccionan con el agua en la atmósfera, formando ácidos.
 - El dióxido de carbono (CO₂) se disuelve en el agua de lluvia, formando ácido sulfúrico altamente corrosivo.
 - Las partículas de hollín en el aire absorben la humedad y generan ácido nítrico en contacto con el suelo.
 - La evaporación de contaminantes metálicos provoca la caída de lluvia con propiedades ácidas.
- 12. ¿Qué visión tienes actualmente de la ciencia?**
- Algo lejano y poco relevante en mi día a día
 - Algo interesante, pero que solo aplican los científicos.
 - Algo útil que está presente en muchas cosas, aunque no siempre lo noto.
 - Algo esencial que me ayuda a entender el mundo y tomar decisiones.
- 13. ¿Tienes intención de seguir estudiando ciencias en un futuro?**
- Sí, tengo claro que quiero estudiar algo relacionado con ciencia o tecnología.
 - Me interesa la ciencia, pero aún no lo tengo claro.
 - No lo descarto, pero me atraen más otras áreas.
 - No, no me interesa el ámbito científico como carrera profesional.
- 14. ¿Qué te han parecido los experimentos realizados en clase?**
- Muy interesantes, claros y explicativos.
 - Entretenidos, aunque no he entendido bien el fundamento.
 - No me han resultado especialmente interesantes ni explicativos.
 - No me han gustado o no les he encontrado sentido.
- 15. Si tienes alguna sugerencia o comentario, por favor escríbelo en el siguiente espacio**

Anexo 2: Observaciones realizadas por las estudiantes

15. Si tienes alguna sugerencia o comentario, por favor escríbelo en el siguiente espacio

Lo heste muy bien profe, 

15. Si tienes alguna sugerencia o comentario, por favor escríbelo en el siguiente espacio

Han sido prácticas bastante interesantes y en las que he podido aprender más. Me fomentado mis conocimientos, como el hecho de saber ahora que son las tierras raras o el por qué de la lluvia ácida.
A pesar de haber teoría, creo que ha estado bastante bien, no ha sido una teoría muy extensa, sino la justa y necesaria para entender los fenómenos que ocurrían.
Muchas gracias ÷.