
**Propuesta didáctica para la detección y superación
de dificultades de aprendizaje en
electromagnetismo de 2º de Bachillerato.**



Universidad de Valladolid

**Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato,
Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas**

Especialidad: Física y Química

Facultad de Educación y Trabajo Social

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Tutora: Ana María Grande Sáez

Autora: Teresa del Val de la Fuente

Curso: 2023/2024

Resumen

En este Trabajo de Fin de Máster, se ha presentado una propuesta didáctica con el objetivo de superar las dificultades de aprendizaje más frecuentes o relevantes dentro del área de electromagnetismo de Física de 2º de Bachillerato.

Con el fin de justificar la relevancia que las dificultades de aprendizaje poseen dentro del marco educativo actual, se ha realizado un breve recorrido histórico partiendo del nacimiento de la didáctica de las ciencias y del surgimiento de las dificultades de aprendizaje como una de sus principales líneas de investigación. Posteriormente se han descrito tres posibles causas relacionadas con la aparición de las dificultades de aprendizaje: las concepciones alternativas, las formas de razonamiento y las actitudes negativas.

Esta propuesta didáctica se ha enfocado en la detección y superación de una serie de dificultades de aprendizaje. Para facilitar su implementación en las aulas, se ha diseñado la propuesta para una metodología tradicional que contará con el apoyo de diversas herramientas y estrategias. Para cada una de las dificultades de aprendizaje abordadas se han aportado varios instrumentos para su detección, se han expuesto sus posibles causas y se le ha asignado la herramienta o estrategia más adecuada para su superación, de la cual se hará uso a través de su correspondiente actividad.

En concreto, se han analizado siete dificultades de aprendizaje pertenecientes a diferentes partes del electromagnetismo: el uso de las herramientas matemáticas como las integrales y las derivadas, el significado físico del concepto de campo, la necesidad del concepto de campo para describir las interacciones eléctricas y magnéticas, el significado físico del concepto de potencial eléctrico, la relación del potencial eléctrico con otras magnitudes físicas, las concepciones alternativas respecto a las fuentes de campo magnético, y la identificación de los factores que provocan la inducción electromagnética. Finalmente, para comprobar la efectividad las herramientas de esta propuesta se realizará la evaluación para cada actividad mediante sus correspondientes rúbricas.

Palabras clave: dificultades de aprendizaje, Física, 2º de Bachillerato, electromagnetismo.

Abstract

In this Master's Final Project, a didactic proposal has been presented with the aim of overcoming the most frequent or relevant learning difficulties belonging to the area of electromagnetism in the subject of Physics in the second course of Bachillerato.

With the purpose of justifying the significance that learning difficulties hold within the current educative framework, a brief historical tour starting from the birth of the didactics of science and the emergence of learning difficulties as one of its main research lines has been shown. Subsequently, three possible causes related to the manifestation of learning difficulties have been described: alternative conceptions, reasoning forms and negative attitudes.

The detection and the overcoming of several learning difficulties have been the focus of this didactic proposal. To facilitate its implementation in the classroom, the proposal has been designed for a traditional methodology which will be supported by different tools and strategies. For each of the addressed learning difficulties, several instruments have been presented for its detection, its possible causes have been exposed and a tool or strategy has been assigned in order to overcome them, which shall be applied in its correspondent activity.

Specifically, seven learning difficulties from different areas of electromagnetism have been analyzed : the use of mathematical tools such as integrals and derivatives, the physical meaning behind the field concept, the necessity of the fields in order to describe electrical and magnetic interactions, the physical meaning behind the electric potential concept, the connection between the electric potential and other physical magnitudes, the alternative conceptions regarding magnetic field sources, and the identification of the factors responsible for the electromagnetic induction. Finally, to verify the effectiveness of the tools featured in this proposal, an evaluation will be conducted for each activity by using their respective rubrics.

Keywords: learning difficulties, Physics, 2nd year of Bachillerato, electromagnetism.

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivos principales	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Marco legal	2
3.1. Marco legislativo actual	2
3.1.1. Objetivos de etapa	2
3.1.2. Competencias clave	3
3.1.3. Descriptores operativos	4
3.2. Currículo de la Física en 2º de Bachillerato	4
3.2.1. Saberes básicos	5
3.2.2. Competencias específicas	7
3.2.3. Criterios de evaluación	8
4. Marco teórico	9
4.1. Didáctica de las ciencias y dificultades de aprendizaje	9
4.2. Antecedentes de las dificultades de aprendizaje en el ámbito de electromagnetismo	12
4.3. Causas de las dificultades de aprendizaje	13
4.3.1. Concepciones alternativas	13
4.3.2. Formas de razonamiento	19
4.3.3. Actitudes negativas	21
5. Propuesta didáctica	22
5.1. Descripción de la propuesta didáctica	22
5.1.1. Contextualización	23
5.1.2. Metodología y herramientas	23
5.1.3. Contribución a las competencias clave	29
5.1.4. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	30
5.2. Detección de dificultades de aprendizaje	31
5.3. Índice de dificultades de aprendizaje	34
5.4. Dificultades de aprendizaje	35
5.4.1. Instrumentos matemáticos	35
5.4.2. Concepto de campo	39
5.4.3. Electroestática	50

5.4.4.	Magnetismo.....	58
5.4.5.	Inducción electromagnética	61
5.5.	Evaluación	65
5.5.1.	Evaluación del alumnado	65
6.	Conclusiones	70
7.	Bibliografía	73
8.	Anexos	80

Lista de abreviaturas

CCL: Competencia en Comunicación Lingüística

CP: Competencia Plurilingüe

STEM: Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería

CD: Competencia digital

CPSAA: Competencia personal, social y aprender a aprender

CC: Competencia ciudadana

CE: Competencia emprendedora

CCEC: Competencia en conciencia y expresión culturales

Índice de figuras

Figura 1: Dibujo ilustrativo de la generación de corriente alterna a partir del giro de una espira en un campo magnético uniforme. Extraído de (Zajkov, Gegovska, & Mitrevski, 2016).....	17
Figura 2: Izquierda: Representación del módulo del campo eléctrico generado por una carga puntual positiva frente a la distancia. Derecha: Representación del potencial eléctrico de una carga puntual positiva frente a la distancia. Fuente: elaboración propia.	31
Figura 3: Representación de dos cargas puntuales separadas por una distancia $2d$. Fuente: elaboración propia.	32
Figura 4: Líneas equipotenciales creadas por dos cargas positivas. Generada con (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.)	32
Figura 5: Dibujo correspondiente a la cuestión 5 del cuestionario. Extraída de (Guisasola, Almodí, & Zubimendi, 2003)	33
Figura 6: Gráfica f frente a r . Fuente: elaboración propia.....	37
Figura 7: Izquierda: campo eléctrico vs distancia. Derecha: potencial eléctrico (rojo) y su derivada (azul) vs distancia. Fuente: elaboración propia.	38
Figura 8: Representación de un círculo de radio desconocido en el que se ha seleccionado un sector circular de ángulo $\Delta\theta$. Fuente: elaboración propia.	38
Figura 9: Campo eléctrico uniforme atravesando una superficie circular en la cual se ha seleccionado un sector circular de un ángulo $\Delta\theta$. Fuente: elaboración propia.....	39
Figura 10: Líneas de campo magnético generadas por un dipolo magnético formado por una configuración de varios imanes. Fuente: elaboración propia.....	42
Figura 11: Izquierda: Líneas de campo magnético generadas por dos polos opuestos enfrentados. Derecha: Líneas de campo magnético generada por dos polos iguales enfrentados. Fuente: elaboración propia.....	43
Figura 12: Líneas de campo magnético creado una configuración de imanes en la que se enfrentan 3 polos iguales (superior, inferior, izquierdo) y un polo opuesto (derecho). Fuente: elaboración propia.	43
Figura 13: Disposiciones de electrodos. Extraída de (Electricity and Magnetism, s.f.)	44
Figura 14: Líneas de campo eléctrico tras aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos. Extraída de (Electricity and Magnetism, s.f.)	44
Figura 15: Izquierda: Representación de vectores de campo eléctrico y líneas de campo de una carga puntual positiva. Derecha: Representación de vectores de campo eléctrico y líneas de campo de un dipolo eléctrico. Imagen generada con Falstad (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.).....	45
Figura 16: Izquierda: Representación de vectores de campo magnético creado por una corriente que circula hacia abajo por un hilo conductor infinito. Derecha: Representación de líneas de campo magnético generado por una corriente que circula por una espira. Imagen generada con (3-D Magnetostatic Field Simulation, s.f.).....	46
Figura 17: Modelo de línea temporal. Fuente: elaboración propia.	49
Figura 18: Cartel con posibles aplicaciones. Fuente: elaboración propia.	50
Figura 19: Espectro electromagnético con aplicaciones de ondas electromagnéticas. Extraído de (Pérez, Estrada, & Briones, s.f.)	50
Figura 20: Potencial con dependencia $1/r$ generado por una fuente puntual. Generada con (2-D Vector Field Simulation, s.f.)	53

Figura 21: Potencial eléctrico generado por una carga puntual positiva en 3D. Generada con (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.)	54
Figura 22: Mapa conceptual sobre el potencial eléctrico. Fuente: elaboración propia.	56
Figura 23: Izquierda: Mapa líneas equipotenciales carga positiva puntual. Extraída de (Superficies equipotenciales, s.f.). Derecha: Mapa líneas equipotenciales carga negativa y carga positiva. Extraída de (Sarthaks, s.f.)	57
Figura 24: Líneas de campo magnético generadas por un imán. Extraída de (Magnetic Fields, s.f.).....	60
Figura 25: Trayectoria de una carga positiva en un espectrómetro de masas (líneas azules). Extraída de (Study.com, s.f.)	61
Figura 26: Interfaz de la aplicación: Faraday's Electromagnetic Lab. Representación de una bombilla conectada a un solenoide y un imán. Imagen generada con Faraday's Electromagnetic Lab.....	63
Figura 27: Representación de la inducción electromagnética a partir del desplazamiento relativo de un imán con respecto al circuito. Figura generada con Faraday's Electromagnetic Lab.....	64
Figura 28: Motor de Faraday. Dispositivo experimental y funcionamiento. Extraído de (Brauer, Ziolkowski, Porzig, & Toepfer, 2011)	87
Figura 29: Mapa líneas equipotenciales. Extraído de (Study.com, s.f.)	90

1. Introducción

En la actualidad, el papel de las ciencias en la educación y la alfabetización científica son imprescindibles para superar los retos presentes en una sociedad cada vez más compleja y global. Sin embargo, la relación entre las ciencias y la educación no siempre ha sido tan estrecha. La presencia de las ciencias en el sistema educativo estuvo muy limitada durante muchos siglos hasta que los avances científicos alcanzados entre el siglo XVIII y el siglo XIX lograron despertar el interés por la enseñanza de las ciencias. (Salas, 2010)

A lo largo de muchas décadas la enseñanza de las ciencias se basó en la transmisión de los conocimientos científicos, pero con el tiempo este planteamiento se mostró insuficiente para una verdadera comprensión de las ciencias. En los años 70 en España, muchos cuerpos de profesores de Secundaria mostraban su preocupación por el fracaso escolar y, al no existir ningún campo de conocimientos que abordase esta problemática, buscaron ponerle solución a través de la innovación educativa, pero sin mucho éxito. Este hecho sentó un importante precedente para el desarrollo de la didáctica de las ciencias como cuerpo de conocimientos durante la década de los 80. (Pérez, Carrascosa, & Terrades, 1999)

Es en esta época cuando comienzan a surgir varias líneas de investigación dentro de la didáctica de las ciencias, siendo las dificultades de aprendizaje una de las más relevantes hasta la fecha actual. Desde sus orígenes esta línea estuvo íntimamente ligada al estudio de las ideas previas sobre la teoría científica que presentan los alumnos y cuya extensa y variada terminología terminaría por establecerse en el estudio de las concepciones alternativas. A las concepciones alternativas se las identificó como una de las principales causas de la aparición de las dificultades de aprendizaje y, fruto del interés por la dimensión conceptual, los investigadores se dedicaron en su mayor parte al estudio de las concepciones alternativas.

Aparte de la dimensión conceptual, existen otras causas pertenecientes dentro del ámbito metodológico o el afectiva que, aun habiendo recibido mucha menos atención por parte de la investigación, también deben ser tomadas en consideración, como es el caso de las formas de razonamiento de sentido común y las actitudes negativas, respectivamente. (Solbes, 2008)

Conforme el sistema educativo ha ido evolucionando, gracias a los avances en la integración de los conocimientos científicos y pedagógicos, los docentes han continuado investigando dentro de la línea de investigación de dificultades de aprendizaje. En las últimas décadas, se han propuesto diversas metodologías como vía alternativa a las clases tradicionales. Asimismo, se ha estudiado el efecto de la incorporación de diversas estrategias y herramientas a la metodología tradicional. Los resultados obtenidos en numerosos estudios sobre los efectos de este tipo de innovaciones educativas aplicadas en el área de las ciencias parecen indicar que estas resultan efectivas y tienen un impacto positivo. Sin embargo, no parece que su implementación en el aula se haya generalizado y la presencia de dificultades de aprendizaje se mantiene imperturbable al paso del tiempo.

Dentro del currículo de Física de 2º de Bachillerato se imparten numerosos conceptos de gran abstracción y complejidad. En concreto, el electromagnetismo es uno de los bloques temáticos que presenta más dificultades de aprendizaje debido a la multitud de nuevos conceptos, la interrelación entre estos y la necesidad de un conocimiento y empleo adecuado de ciertas herramientas matemáticas. Es por tanto necesario identificar estas dificultades de aprendizaje y

buscar diferentes herramientas que permitan paliar o eliminar los efectos que estas dificultades tienen en el razonamiento y aprendizaje del alumnado.

En vista de la influencia que las dificultades de aprendizaje ejercen en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los conocimientos científicos, en este Trabajo de Fin de Máster se ha optado por hacer una revisión de las posibles causas de la aparición de dificultades de aprendizaje. Como medida a este problema se ha planteado la implementación de una propuesta didáctica que precisamente recoja y analice algunas de las dificultades de aprendizaje más relevantes o frecuentes de electromagnetismo en Física de 2º de Bachillerato. La propuesta proporciona una serie de instrumentos con los que detectar la presencia de las dificultades de aprendizaje en el alumnado y se aplican varias herramientas y estrategias destinadas a la superación de cada una de estas a través de sus correspondientes actividades. En conclusión, se espera lograr un cambio significativo en el aprendizaje del electromagnetismo a través de la superación de las dificultades de aprendizaje tratadas en la propuesta.

2. Objetivos

Los objetivos de la propuesta didáctica que se presenta en este Trabajo Fin de Máster son los que se indican a continuación:

2.1. Objetivos principales

- ◆ Identificar y estudiar las dificultades de aprendizaje más comunes o relevantes en el ámbito del electromagnetismo en 2º de Bachillerato.
- ◆ Exponer las causas que llevan a la aparición de las dificultades de aprendizaje y establecer su relación con las dificultades de aprendizaje del electromagnetismo.
- ◆ Aportar herramientas y estrategias con las que se consiga lograr la detección y superación de las dificultades de aprendizaje del electromagnetismo en 2º de Bachillerato.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos están asociados a las diferentes actividades de la propuesta didáctica. La asignación de cada objetivo específico a las actividades de la propuesta se ha recogido en varias tablas, comenzando desde la tabla 4 hasta la tabla 11 del apartado 5.4. Dificultades de aprendizaje.

- ◆ Comprender el significado físico de las integrales y de las derivadas y establecer su conexión con su significado matemático.
- ◆ Facilitar la comprensión de magnitudes utilizadas en electromagnetismo y las relaciones entre estas a partir de sus expresiones matemáticas.
- ◆ Comprender el concepto de campo eléctrico y de campo magnético.
- ◆ Visualizar el efecto del campo eléctrico y del campo magnético en la vida real y dotarles de significado físico.
- ◆ Reconocer la necesidad del concepto de campo eléctrico y de campo magnético para la explicación de fenómenos electromagnéticos.

- ◆ Situar cronológicamente eventos relevantes de la historia del electromagnetismo para adquirir una visión holística.
- ◆ Conocer las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en la vida cotidiana.
- ◆ Comprender el concepto de potencial eléctrico a nivel físico.
- ◆ Establecer una analogía entre el potencial eléctrico y el potencial gravitatorio.
- ◆ Relacionar los conceptos: campo eléctrico, trabajo y energía potencial eléctrica con el potencial eléctrico.
- ◆ Utilizar mapas conceptuales para organizar y representar las relaciones entre el potencial eléctrico y el campo eléctrico, el trabajo y la energía potencial eléctrica.
- ◆ Construir modelos sobre la interacción magnética.
- ◆ Adquirir herramientas y estrategias para contrastar diferentes modelos sobre un mismo fenómeno.
- ◆ Establecer mediante el debate un modelo compatible con el conocimiento científico sobre la interacción magnética.
- ◆ Reconocer las magnitudes involucradas en el fenómeno de inducción magnética.
- ◆ Identificar las condiciones necesarias para que la inducción electromagnética tenga lugar.
- ◆ Razonar leyes físicas en base a la observación y la experimentación.

3. Marco legal

3.1. Marco legislativo actual

El sistema educativo actual se rige por la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Esta ley, más comúnmente conocida como LOMLOE, se implementó para los cursos pares en el actual curso 2023/2024 y, por lo tanto, tiene efecto sobre 2º de Bachillerato, curso al cual se ha enfocado la propuesta didáctica.

El currículo de 2º de Bachillerato de toda España se encuentra recogido dentro del Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. En el caso de Castilla y León, en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. El Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, enumera los elementos que componen el currículo de Bachillerato en España. Su definición y características se recogen a continuación:

3.1.1. Objetivos de etapa

“Logros que se espera que el alumnado haya alcanzado al finalizar la etapa y cuya consecución está vinculada a la adquisición de las competencias clave.”

Para la etapa de Bachillerato se establecen los siguientes objetivos:

a) Ejercer la ciudadanía democrática, desde una perspectiva global, y adquirir una conciencia cívica responsable, inspirada por los valores de la Constitución Española, así como por los derechos humanos, que fomente la corresponsabilidad en la construcción de una sociedad justa y equitativa.

- b) Consolidar una madurez personal, afectivo-sexual y social que les permita actuar de forma respetuosa, responsable y autónoma y desarrollar su espíritu crítico. Prever, detectar y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales, así como las posibles situaciones de violencia.
- c) Fomentar la igualdad efectiva de derechos y oportunidades de mujeres y hombres, analizar y valorar críticamente las desigualdades existentes, así como el reconocimiento y enseñanza del papel de las mujeres en la historia e impulsar la igualdad real y la no discriminación por razón de nacimiento, sexo, origen racial o étnico, discapacidad, edad, enfermedad, religión o creencias, orientación sexual o identidad de género o cualquier otra condición o circunstancia personal o social.
- d) Afianzar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, como condiciones necesarias para el eficaz aprovechamiento del aprendizaje, y como medio de desarrollo personal.
- e) Dominar, tanto en su expresión oral como escrita, la lengua castellana y, en su caso, la lengua cooficial de su comunidad autónoma.
- f) Expresarse con fluidez y corrección en una o más lenguas extranjeras.
- g) Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.
- h) Conocer y valorar críticamente las realidades del mundo contemporáneo, sus antecedentes históricos y los principales factores de su evolución. Participar de forma solidaria en el desarrollo y mejora de su entorno social.
- i) Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.
- j) Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, así como afianzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente.
- k) Afianzar el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en uno mismo y sentido crítico.
- l) Desarrollar la sensibilidad artística y literaria, así como el criterio estético, como fuentes de formación y enriquecimiento cultural.
- m) Utilizar la educación física y el deporte para favorecer el desarrollo personal y social. Afianzar los hábitos de actividades físico-deportivas para favorecer el bienestar físico y mental, así como medio de desarrollo personal y social.
- n) Afianzar actitudes de respeto y prevención en el ámbito de la movilidad segura y saludable.
- o) Fomentar una actitud responsable y comprometida en la lucha contra el cambio climático y en la defensa del desarrollo sostenible.

A estos objetivos de etapa se le añaden tres objetivos específicos para la comunidad de Castilla y León que se recogen en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre.

3.1.2. Competencias clave

“Desempeños que se consideran imprescindibles para que el alumnado pueda progresar con garantías de éxito en su itinerario formativo, y afrontar los principales retos y desafíos globales y locales.”

Competencia en comunicación lingüística (CCL): La competencia en comunicación lingüística supone interactuar de forma oral, escrita, signada o multimodal de manera coherente y adecuada en diferentes ámbitos y contextos y con diferentes propósitos comunicativos. (...) La competencia en comunicación lingüística constituye la base para el pensamiento propio y para la construcción del conocimiento en todos los ámbitos del saber.

Competencia plurilingüe (CP): La competencia plurilingüe implica utilizar distintas lenguas, orales o signadas, de forma apropiada y eficaz para el aprendizaje y la comunicación.

Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería (STEM): La competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería (competencia STEM por sus siglas en inglés) entraña la comprensión del mundo utilizando los métodos científicos, el pensamiento y representación matemáticos, la tecnología y los métodos de la ingeniería para transformar el entorno de forma comprometida, responsable y sostenible.

La competencia matemática permite desarrollar y aplicar la perspectiva y el razonamiento matemáticos con el fin de resolver diversos problemas en diferentes contextos. La competencia en ciencia conlleva la comprensión y explicación del entorno natural y social, utilizando un conjunto de conocimientos y metodologías, incluidas la observación y la experimentación, con el fin de plantear preguntas y extraer conclusiones basadas en pruebas para poder interpretar y transformar el mundo natural y el contexto social. La competencia en tecnología e ingeniería comprende la aplicación de los conocimientos y metodologías propios de las ciencias para transformar nuestra sociedad de acuerdo con las necesidades o deseos de las personas en un marco de seguridad, responsabilidad y sostenibilidad.

Competencia digital (CD): La competencia digital implica el uso seguro, saludable, sostenible, crítico y responsable de las tecnologías digitales para el aprendizaje, para el trabajo y para la participación en la sociedad, así como la interacción con estas.

Competencia personal, social y aprender a aprender (CPSAA): La competencia personal, social y de aprender a aprender implica la capacidad de reflexionar sobre uno mismo para autoconocerse, aceptarse y promover un crecimiento personal constante; gestionar el tiempo y la información eficazmente; colaborar con otros de forma constructiva; mantener la resiliencia; y gestionar el aprendizaje a lo largo de la vida. Incluye también la capacidad de hacer frente a la incertidumbre y a la complejidad; adaptarse a los cambios; aprender a gestionar los procesos metacognitivos; identificar conductas contrarias a la convivencia y desarrollar estrategias para abordarlas y contribuir al bienestar físico, mental y emocional propio y de las demás personas.

Competencia ciudadana (CC): La competencia ciudadana contribuye a que alumnos y alumnas puedan ejercer una ciudadanía responsable y participar plenamente en la vida social y cívica, basándose en la comprensión de los conceptos y las estructuras sociales, económicas, jurídicas y políticas, así como en el conocimiento de los acontecimientos mundiales y el compromiso activo con la sostenibilidad y el logro de una ciudadanía mundial. Incluye la alfabetización cívica, la adopción consciente de los valores propios de una cultura democrática fundada en el respeto

a los derechos humanos y la reflexión crítica acerca de los grandes problemas éticos de nuestro tiempo.

Competencia emprendedora (CE): La competencia emprendedora implica (...) aportar estrategias que permiten adaptar la mirada para detectar necesidades y oportunidades; entrenar el pensamiento para analizar y evaluar el entorno, y crear y replantear ideas utilizando la imaginación, la creatividad, el pensamiento estratégico y la reflexión ética, crítica y constructiva dentro de los procesos creativos y de innovación. Asimismo, implica tomar decisiones basadas en la información y el conocimiento y colaborar de manera ágil con otras personas (...) para llevar las ideas planteadas a la acción mediante la planificación y gestión de proyectos sostenibles de valor social, cultural y económico-financiero.

Competencia en conciencia y expresión culturales (CCEC): La competencia en conciencia y expresión culturales supone comprender y respetar el modo en que las ideas, las opiniones, los sentimientos y las emociones se expresan y se comunican de forma creativa en distintas culturas y por medio de una amplia gama de manifestaciones artísticas y culturales. (...) Asimismo, requiere la comprensión de la propia identidad en evolución y del patrimonio cultural en un mundo caracterizado por la diversidad, así como la toma de conciencia de que el arte y otras manifestaciones culturales pueden suponer una manera de mirar el mundo y de darle forma.

3.1.3. Descriptores operativos

“Los descriptores operativos identifican el nivel de desarrollo de cada competencia clave que el alumnado debe lograr al finalizar esta etapa, concretando los principios y los fines del sistema educativo referidos a este periodo. Se trata del elemento angular de todo el currículo, sobre el que convergen los objetivos de la etapa de bachillerato, además de ser el referente último de la evaluación de los aprendizajes del alumnado.”

Esta definición extraída del Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, implica que a través de este elemento se logra establecer una conexión entre las competencias clave, los objetivos de etapa y las competencias específicas que se definirán más adelante. En el anexo I, se ha incluido el mapa que vincula los objetivos de etapa con los descriptores operativos de las competencias clave.

3.2. Currículo de la Física en 2º de Bachillerato

El área de aplicación de este trabajo se limita a la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. En concreto, la Física cobra especial interés dentro de las ciencias debido a que trata de estudiar la naturaleza a partir de las cuatro interacciones fundamentales y, además, está presente en múltiples avances tecnológicos de la sociedad. El Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, establece los saberes básicos, las competencias específicas y los criterios de evaluación de esta asignatura.

3.2.1. Saberes básicos

“Conocimientos, destrezas y actitudes que constituyen los contenidos propios de una materia y cuyo aprendizaje es necesario para la adquisición de las competencias específicas.”

En concreto, los saberes básicos de asignatura de Física se dividen en cuatro bloques: Campo gravitatorio; Campo electromagnético; Vibraciones y ondas; y Física relativista, cuántica, nuclear y de partículas. De aquí en adelante, se únicamente se hará referencia al bloque de Campo electromagnético.

El electromagnetismo constituye una de las ramas más antiguas e importantes de la Física junto con la mecánica y la termodinámica. Sin embargo, es necesario atender a cuestiones didácticas como la proporción de los contenidos dentro del currículum y su orden de impartición. Es decir, se debe partir de los conceptos más concretos, sencillos e intuitivos para formar una base que permita comprender y llegar a los conceptos más complejos y abstractos. Este hecho se ve reflejado en el currículum de Física establecido para la Secundaria ya que, a diferencia de otras ramas de la Física, la mecánica se trabaja en todos los cursos de Secundaria salvo en 2º de Bachillerato. Mientras, el porcentaje de contenidos que corresponden a electromagnetismo es mucho menor y la mayor parte de estos se estudian en cursos superiores.

Según el Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León, en 3º de la E.S.O., tiene lugar el primer contacto con los conceptos más básicos de la electricidad sin abordar el magnetismo. La tabla 1 muestra los saberes básicos correspondientes al bloque La energía.

C. La energía	
1	Diseño y comprobación experimental de hipótesis relacionadas con el uso doméstico e industrial de la energía eléctrica. Estimación del coste de la luz de aparatos eléctricos de uso doméstico. Análisis de medidas para reducir el gasto energético.
2	Naturaleza eléctrica de la materia: electrización de los cuerpos, conductores y aislantes y circuitos eléctricos. Aplicación de la Ley de Ohm a la resolución de circuitos eléctricos sencillos. Obtención de la energía eléctrica: aspectos industriales y máquinas eléctricas. Concienciación sobre la necesidad del ahorro energético y la conservación sostenible del medio ambiente.

Tabla 1: Saberes básicos del bloque C. La energía, en 3º de la E.S.O.

Por otra parte, el currículo de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato se establece en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre. La tabla 2 recoge los saberes básicos del bloque Campo electromagnético.

B. Campo electromagnético	
1	Campos eléctrico y magnético: tratamiento vectorial, determinación de las variables cinemáticas y dinámicas de cargas eléctricas libres en presencia de estos campos. Ley de Coulomb y Ley de Lorentz. Fenómenos naturales y aplicaciones tecnológicas en los que se aprecian estos efectos: acelerador lineal de partículas, selector de velocidades, espectrómetro de masas y ciclotrón.
2	Intensidad del campo eléctrico en distribuciones de cargas discretas y continuas (esfera conductora): cálculo e interpretación del flujo de campo eléctrico.
3	El trabajo realizado por la fuerza eléctrica: el campo eléctrico como campo conservativo.

4	Energía de una distribución de cargas estáticas: magnitudes que se modifican y que permanecen constantes con el desplazamiento de cargas libres entre puntos de distinto potencial eléctrico.
5	Superficies equipotenciales. Relación entre el potencial y el campo eléctrico uniforme.
6	El fenómeno del magnetismo y la experiencia de Oersted.
7	El campo magnético como campo no conservativo.
8	Campos magnéticos generados por hilos con corriente eléctrica en distintas configuraciones geométricas: rectilíneos, espiras, solenoides o toros. Interacción con cargas eléctricas libres presentes en su entorno.
9	Acción del campo magnético sobre un hilo de corriente rectilíneo: Segunda ley elemental de Laplace. Interacción entre dos hilos de corriente, rectilíneos y paralelos. Definición de Amperio.
10	Líneas de campo eléctrico y magnético producido por distribuciones de carga sencillas, imanes e hilos con corriente eléctrica en distintas configuraciones geométricas.
11	Flujo magnético. Leyes de Faraday-Henry y Lenz. Fuerza electromotriz.
12	Generación de la fuerza electromotriz: funcionamiento de motores, generadores y transformadores a partir de sistemas donde se produce una variación del flujo magnético.

Tabla 2: Saberes básicos del bloque B. Campo electromagnético, en Física de 2º de Bachillerato

En base a los saberes básicos que conforman este bloque puede extraerse una serie de características que permitan en parte, justificar las posibles dificultades en el aprendizaje que surgen en el área de electromagnetismo:

- ◆ Gran parte de los conceptos que se tratan dentro de este bloque son nuevos para los alumnos, en especial, aquellos que hacen referencia al magnetismo y a la inducción electromagnética debido a que en 3º de la E.S.O. solo se estudian conceptos relacionados con la electricidad.
- ◆ Conceptos como el campo eléctrico, campo magnético, superficies equipotenciales, potencial eléctrico o flujo magnético, se caracterizan por su gran abstracción lo que puede dificultar en gran medida su comprensión.
- ◆ Los conceptos pertenecientes a electrostática y a magnetismo presentan características diferentes y fácilmente identificables como lo son sus fuentes y campos. Sin embargo, su interrelación en la inducción electromagnética puede propiciar la confusión entre los diferentes conceptos y el establecimiento de símiles que generen dificultades de aprendizaje.
- ◆ En este bloque, conceptos como la relación entre el campo eléctrico y el magnético, la ley de Gauss o la ley de Biot-Savart requieren del uso de las herramientas matemáticas más complejas que se estudian en este curso como las integrales y las derivadas. Además, conviene tener un gran dominio del cálculo vectorial básico debido al carácter vectorial del campo eléctrico y el campo magnético, así como para poder utilizar nuevas herramientas como la regla de la mano derecha. En muchos casos parte de los conceptos matemáticos, en especial las integrales, se estudian después de tener que hacer uso de ellos en la materia de Física, lo que puede derivar en un uso incorrecto de las mismas.

3.2.2. Competencias específicas

“Desempeños que el alumnado debe poder desplegar en actividades o en situaciones cuyo abordaje requiere de los saberes básicos de cada materia. Las competencias específicas constituyen un elemento de conexión entre, por una parte, las competencias clave, y por otra, los saberes básicos de las materias y los criterios de evaluación.”

La asignatura de Física de 2º de Bachillerato dispone de seis competencias específicas las cuales se enunciarán a continuación junto con sus respectivos descriptores operativos:

1. Utilizar las teorías, principios y leyes que rigen los procesos físicos más importantes, considerando su base experimental y desarrollo matemático en la resolución de problemas, para reconocer la física como una ciencia relevante implicada en el desarrollo de la tecnología, la economía, la sociedad y de la sostenibilidad ambiental. Esta competencia específica se conecta con los siguientes descriptores: STEM1, STEM2, STEM3, CD5.
2. Adoptar los modelos, teorías y leyes aceptados de la física como base de estudio de los sistemas naturales y predecir su evolución para inferir soluciones generales a los problemas cotidianos relacionados con las aplicaciones prácticas demandadas por la sociedad en el campo tecnológico, industrial y biosanitario. Esta competencia específica se conecta con los siguientes descriptores: STEM2, STEM5, CPSAA2, CC4.
3. Utilizar el lenguaje de la física con la formulación matemática de sus principios, magnitudes, unidades, ecuaciones, etc., para establecer una comunicación adecuada entre diferentes comunidades científicas y como una herramienta fundamental en la investigación. Esta competencia específica se conecta con los siguientes descriptores: CCL1, CCL2, CCL5, STEM1, STEM4, CD3.
4. Utilizar de forma autónoma, eficiente, crítica y responsable recursos en distintos formatos, plataformas digitales de información y de comunicación en el trabajo individual y colectivo para el fomento de la creatividad mediante la producción y el intercambio de materiales científicos y divulgativos que faciliten acercar la física a la sociedad como un campo de conocimientos accesible. Esta competencia específica se conecta con los siguientes descriptores: CCL3, CP1, STEM3, STEM5, CD1, CD2, CD3, CPSAA4.
5. Aplicar técnicas de trabajo e indagación propias de la física, así como la experimentación, el razonamiento lógico-matemático y la cooperación, en la resolución de problemas y la interpretación de situaciones relacionadas, para poner en valor el papel de la física en una sociedad basada en valores éticos y sostenibles. Esta competencia específica se conecta con los siguientes descriptores: CCL1, STEM1, STEM4, CPSAA3.2, CC4, CE3.
6. Reconocer y analizar el carácter multidisciplinar de la física, considerando su relevante recorrido histórico y sus contribuciones al avance del conocimiento científico como un proceso en continua evolución e innovación, para establecer unas bases de conocimiento y relación con otras disciplinas científicas. Esta competencia específica se conecta con los siguientes descriptores: STEM2, STEM5, CPSAA5, CE1.

En el anexo II se muestra el mapa de relaciones competenciales que vincula las competencias específicas con las competencias clave a partir de sus respectivos descriptores operativos.

3.2.3. Criterios de evaluación

“Referentes que indican los niveles de desempeño esperados en el alumnado en las situaciones o actividades a las que se refieren las competencias específicas de cada materia en un momento determinado de su proceso de aprendizaje.”

Cada competencia específica de Física de 2º de Bachillerato dispone de varios criterios de evaluación que se enuncian a continuación junto con sus descriptores operativos:

Competencia específica 1

1.1 Reconocer la relevancia de la física en el desarrollo de la ciencia, la tecnología, la economía, la sociedad y la sostenibilidad ambiental, empleando adecuadamente los fundamentos científicos relativos a esos ámbitos. (STEM2)

1.2 Resolver problemas de manera experimental y analítica, utilizando principios, leyes y teorías de la física. (STEM1, STEM2, STEM3, CD5)

Competencia específica 2

2.1 Analizar y comprender la evolución de los sistemas naturales, utilizando modelos, leyes y teorías de la física. (STEM2, CC4)

2.2 Inferir soluciones a problemas generales a partir del análisis de situaciones particulares y las variables de que dependen. (STEM2, STEM5, CPSAA2)

2.3 Conocer aplicaciones prácticas y productos útiles para la sociedad en el campo tecnológico, industrial y biosanitario, analizándolos en base a los modelos, las leyes y las teorías de la física. (STEM2, STEM5, CC4)

Competencia específica 3

3.1 Aplicar los principios, leyes y teorías científicas en el análisis crítico de procesos físicos del entorno, como los observados y los publicados en distintos medios de comunicación, analizando, comprendiendo y explicando las causas que los producen. (CCL1, CCL2, STEM4)

3.2 Utilizar de manera rigurosa las unidades de las variables físicas en diferentes sistemas de unidades, empleando correctamente su notación y sus equivalencias, así como la elaboración e interpretación adecuada de gráficas que relacionan variables físicas, posibilitando una comunicación efectiva con toda la comunidad científica. (CCL1, STEM1, STEM4, CD3)

3.3 Expresar de forma adecuada los resultados, argumentando las soluciones obtenidas, en la resolución de los ejercicios y problemas que se plantean, bien sea a través de situaciones reales o ideales. (CCL1, CCL5, STEM1, STEM4)

Competencia específica 4

4.1 Consultar, elaborar e intercambiar materiales científicos y divulgativos en distintos formatos con otros miembros del entorno de aprendizaje, utilizando de forma autónoma y eficiente plataformas digitales. (CCL3, CP1, STEM3, CD1, CD2, CD3, CPSAA4)

4.2 Usar de forma crítica, ética y responsable medios de comunicación digitales y tradicionales como modo de enriquecer el aprendizaje y el trabajo individual y colectivo. (CCL3, CP1, STEM5, CD1, CD3, CPSAA4)

Competencia específica 5

5.1 Obtener relaciones entre variables físicas, midiendo y tratando los datos experimentales, determinando los errores y utilizando sistemas de representación gráfica. (STEM1, STEM4)

5.2 Reproducir en laboratorios, reales o virtuales, determinados procesos físicos modificando las variables que los condicionan, considerando los principios, leyes o teorías implicados, generando el correspondiente informe con formato adecuado e incluyendo argumentaciones, conclusiones, tablas de datos, gráficas y referencias bibliográficas. (CCL1, STEM1, CPSAA3.2, CE3)

5.3 Valorar la física, debatiendo de forma fundamentada sobre sus avances y la implicación en la sociedad, desde el punto de vista de la ética y de la sostenibilidad. (CCL1, STEM4, CPSAA3.2, CC4, CE3)

Competencia específica 6

6.1 Identificar los principales avances científicos relacionados con la física que han contribuido a la formulación de las leyes y teorías aceptadas actualmente en el conjunto de las disciplinas científicas, como las fases para el entendimiento de las metodologías de la ciencia, su evolución constante y su universalidad. (STEM2, STEM5, CPSAA5, CE1)

6.2 Reconocer el carácter multidisciplinar de la ciencia y las contribuciones de unas disciplinas en otras, estableciendo relaciones entre la física y la química, la biología, la geología o las matemáticas. (CPSAA5)

En conclusión, con esta nueva ley desaparecen los estándares de aprendizaje creados por la ley anterior, la LOMCE, y en su lugar aparecen las competencias específicas para cada materia. Cada competencia específica lleva asociados varios criterios de evaluación, que a su vez se les asignan una serie de descriptores operativos que permiten relacionar el cumplimiento de estos criterios de evaluación con el grado de adquisición de las competencias clave.

4. Marco teórico

4.1. Didáctica de las ciencias y dificultades de aprendizaje

Las ciencias naturales y en especial, la física y la química, siempre han adoptado un papel importante y necesario tanto para el avance de la humanidad como para la comprensión del mundo que nos rodea. Si bien la postura de la sociedad hacia las ciencias y su enseñanza está sujeta al paradigma sociopolítico de cada época histórica, no fue hasta el siglo XIX donde surge la enseñanza institucionalizada de las ciencias dentro de Europa. Más concretamente, la Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales como institución nace en 1857 gracias a la Ley Moyano y constituye uno de los primeros indicios de una enseñanza formal de las ciencias en España. Sin embargo, al igual que ocurría en otros países, la falta de profesores cualificados en ciencias estableció como máxima prioridad la formación de estos en conocimientos científicos por encima de las aptitudes pedagógicas.

Afortunadamente, a mediados del siglo XX gracias al apoyo de la psicología se presenta la necesidad de incorporar los conocimientos psicopedagógicos a la formación del profesorado de

ciencias. Se considera que el origen de la didáctica de las ciencias en España tiene lugar en 1931 con el Plan de estudios de las Escuelas Normales (Perales, 2018), pero hay que esperar hasta finales de los 70, década en la que dentro de la psicología aparecen importantes trabajos como la taxonomía de Bloom, los estadios de Piaget o el aprendizaje significativo de Ausubel, para que dentro de la didáctica de las ciencias surja una de las líneas de investigación más prominentes y relacionadas con las dificultades de aprendizaje, las concepciones alternativas. Para definir ambos términos de forma breve y concisa, por una parte, las dificultades de aprendizaje son todos aquellos aspectos referentes a las características de la asignatura, a la estructura cognitiva del alumnado o al método de enseñanza del docente que suponen un obstáculo para el aprendizaje. Por otra parte, se pueden entender las concepciones alternativas como todas aquellas ideas establecidas resistentes a ser sustituidas por el conocimiento científico e inconsistentes con este último. La preocupación y el profundo estudio dentro de esta área termina culminando en el planteamiento del cambio conceptual. Sus defensores sostienen la necesidad de sustituir las ideas previas por otras nuevas que sean coherentes con el conocimiento científico. (Solbes, 2008)

La asociación del cambio conceptual al aprendizaje de los conocimientos científicos propició que, dentro de la didáctica de las ciencias, se produjera la unión de las concepciones alternativas y el cambio conceptual, con las teorías de psicología cognitiva como la de Piaget y la de Ausubel y con la filosofía de las ciencias.

En su teoría del aprendizaje significativo, Ausubel plantea la necesidad de conocer la estructura cognitiva del alumnado, es decir, las ideas que poseen y su organización, puesto que el aprendizaje se basa en la relación de la estructura cognitiva con las nuevas ideas que adquiere el alumno. Ausubel desecha la idea de tratar a los estudiantes como “folios en blanco” y expone que, en el aprendizaje significativo, los conocimientos más importantes de la estructura cognitiva interactúan con la nueva información adquirida. De este modo, los nuevos conocimientos se incorporan a la estructura cognitiva de forma no arbitraria y significativa. (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1983)

Por otro lado, existen otros dos autores pertenecientes a la psicología que caben resaltar ya que junto con Ausubel han propiciado el origen de un modelo de aprendizaje de las ciencias que aún continúa vigente en la actualidad.

Por un lado, Piaget postula que el conocimiento surge como resultado de la adaptación del individuo al medio con el que interactúa (Cárdenas, 2004). Este proceso ocurre mediante el desarrollo de estructuras cognitivas que, a través de la asimilación y la acomodación, conlleva un aprendizaje que facilita la adaptación al medio. La asimilación se produce mediante la entrada en contacto con elementos del entorno y de la apropiación de sus características, mientras que la acomodación ocurre por medio de la integración de los conceptos asimilados. Ambos procesos permiten la construcción de conocimientos que se utilizará para adaptarse al medio. (Ortiz, 2015)

Por otro lado, Vygotsky propone que la interacción del individuo con el medio es la responsable de su aprendizaje. Al formar parte de una sociedad, tanto el individuo como su lenguaje es social y está condicionado por las leyes social-culturales. (Cárdenas, 2004) Este hecho se ve reflejado en un concepto clave dentro de esta teoría que es la zona de desarrollo próximo. Esta zona constituye la separación entre lo que el individuo puede aprender por sí solo y lo que puede

aprender con ayuda de otros individuos; y es en esta zona donde tiene lugar la construcción de conocimientos. (Ortiz, 2015)

Pese a que ambos autores defienden posturas muy distintas respecto al proceso de aprendizaje, tanto Vygotsky como Piaget conciben el aprendizaje como la construcción de conocimientos. Esto implica que el proceso de enseñanza es dinámico, participativo y el sujeto que aprende construye su conocimiento de forma activa. Es decir, dan lugar al nacimiento del constructivismo el cual se apoya en tres ideas principales (Benítez, 2023):

- ◆ El propio alumno es quien debe construir su propio conocimiento tomando un rol activo en su proceso de aprendizaje.
- ◆ Los contenidos que el alumno maneja en la construcción de conocimientos son de cierta complejidad al ser resultado de un proceso de construcción a nivel social.
- ◆ Los alumnos construyen su conocimiento a partir de objetos de conocimiento ya previamente construidos.

En base a las ideas anteriores se extrae que el rol que debe adoptar el docente en el proceso de enseñanza es el de facilitador. Principalmente, el docente debe propiciar que el alumnado lleve a cabo la construcción de su conocimiento y, además, debe orientar esa construcción de manera que esta se aproxime al significado de los contenidos como saberes culturales.

El modelo constructivista ha tenido un gran impacto dentro de la didáctica de las ciencias, en especial, desde la perspectiva de Piaget. (Weil, 2001) Si bien las dificultades de aprendizaje constituyen una de las líneas de investigación más prominentes de la didáctica de las ciencias (de Pro, 2009), en especial desde finales de los 70, se trata de un término que rara vez se define, a menudo dejándolo a la interpretación del lector. Este hecho no implica que varios autores hayan propuesto una definición en base a los estudios enmarcados en esta línea de investigación. Una posible definición es la siguiente:

“Se dice que existe una dificultad de aprendizaje en cualquier situación en la que un estudiante fracasa en comprender un concepto o idea como resultado de uno o más de los siguientes factores:

- ◆ *La naturaleza de las ideas o la estructura cognitiva que posee el estudiante previamente, o la discordancia de esas ideas con respecto al concepto a ser adquirido.*
- ◆ *La demanda o complejidad del proceso de aprendizaje referido al procesamiento de la información, comparado con la capacidad del estudiante.*
- ◆ *Problemas de comunicación provenientes del uso del lenguaje, en relación con términos técnicos o términos generales con significados específicos según el contexto, o la complejidad de la sintaxis utilizada por el profesor (comparado con el lenguaje de los estudiantes).*
- ◆ *Un desajuste entre el estilo de enseñanza del profesor y el método de aprendizaje preferido por el alumno.”* (Kempa, 1991)

A pesar de que el significado del término “dificultades de aprendizaje” pueda parecer evidente en un principio, esta definición sirve como punto de referencia para resaltar dos hechos:

- ♦ La importancia de las dificultades de aprendizaje en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes, el cual se estudiará en mayor profundidad en el apartado de antecedentes.
- ♦ Las posibles causas de las dificultades de aprendizaje que se describen en los cuatro puntos anteriores. Aunque, se debe tomar en consideración que las dificultades de aprendizaje no se encuentran perfectamente definidas y delimitadas y, además, dependen de multitud de factores lo que complica la clasificación de sus causas. Por tanto, en el apartado 4.3. Causas de las dificultades de aprendizaje, se presentará la clasificación realizada por (Solbes, 2008) y se describirán en detalle.

4.2. Antecedentes de las dificultades de aprendizaje en el ámbito de electromagnetismo

El foco de este trabajo son las dificultades de aprendizaje en electromagnetismo, y para comprender su magnitud y relevancia dentro de la didáctica de las ciencias, se enumerarán las numerosas investigaciones realizadas en esta área.

Las dificultades de aprendizaje han sido objeto de estudio desde de los 80 hasta la actualidad, en especial, en cursos de Bachillerato y a nivel universitario. Los primeros estudios se enfocan principalmente en la identificación de las dificultades de aprendizaje a través de diferentes cuestionarios diseñados con el objetivo de detectar concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en aspectos concretos del electromagnetismo como son la electrostática (Furió & Guisasola, 1998), el magnetismo (Guisasola, Almudí, & Zubimendi, 2003), (Osorio, Mejía, Osorio, Campillo, & Covalada, 2012), y la inducción electromagnética (Jelicic, Planinic, & Planinsic, 2017), (Venturini & Lascours, 2001). Otros estudios se centran en el carácter de las preguntas utilizadas para detectar las concepciones alternativas (Alonso A. , 1990). Todas las investigaciones concluyen en la existencia de dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas en el razonamiento del alumnado y en la necesidad de tenerlas en cuenta para lograr un aprendizaje significativo.

Asimismo, a partir de las investigaciones centradas en la detección de dificultades de aprendizaje, varios autores en España se dedican a la recopilación de las dificultades de aprendizaje detectadas en lo referente a diferentes áreas del electromagnetismo como la electrostática (Furió & Guisasola, Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento., 1999), el magnetismo (Guisasola, Almudí, & Zubimendi, 2003), y la inducción electromagnética (Zuza, Almudí, & Guisasola, 2012) y la mayor parte se concentran entre finales de los 90 hasta principios de los 2000. Todas estas investigaciones se realizaron con la finalidad de auxiliar a los docentes en la identificación de dificultades de aprendizaje.

Los estudios de la última década relacionados con las dificultades de aprendizaje en electromagnetismo se nutren de los resultados obtenidos por las investigaciones previas. De este modo, parten de dificultades de aprendizaje ya conocidas y se dedican a realizar propuestas bajo diferentes metodologías o uso de recursos. De esta manera, se busca conseguir un cambio conceptual en el razonamiento de los estudiantes y así lograr un aprendizaje significativo de los conceptos de electromagnetismo. La gran mayoría de propuestas se centran en la inducción electromagnética debido a su mayor dificultad. Se han propuesto diversas metodologías como

la metodología de enseñanza-aprendizaje por investigación orientada (Oyuela & Barragán, 2011), IDAS (iniciación, desarrollo, aplicación y síntesis) junto con el uso de recursos tecnológicos (Inorreta, Bravo, & Bravo, 2023), (Bravo, Bouciguez, & Braunmüller, 2019), el uso de objetos de aprendizaje (recurso digital que se elabora como una secuencia de aprendizaje sobre un tema) (Benavente, Cuesta, Rodríguez, & Gómez, 2021) y la metodología de resolución guiada de problemas (Almudí, Zuza, & Guisasola, 2016). En cuanto a electrostática, se aplica la metodología basada en proyectos a la construcción de prototipos (Collazos, Otero, Isaza, & Mora, 2016) y para el concepto de campo eléctrico, un modelo de aprendizaje como investigación orientada (Furió & Guisasola, 2001) Respecto al magnetismo, destaca el estudio de la ley de Biot-Savart mediante metodología basada en proyectos (Carrera & Ramírez, 2017), y el campo magnético y fuerza magnética mediante metodologías de aprendizaje activo (Pagella, Pinato, & Sosa, 2021). La mayor parte de estas investigaciones se han realizado en países de Latinoamérica como Argentina, México, Uruguay o Colombia y también en España.

4.3. Causas de las dificultades de aprendizaje

A pesar de la creencia inicial de que el dominio de los conocimientos conceptuales bastaba para lograr un aprendizaje exitoso de las ciencias, con el paso del tiempo se acabaría demostrando que existen otros aspectos que pueden obstaculizar el aprendizaje de un estudiante. Para esclarecer este hecho, se ha realizado una clasificación de las causas de las dificultades de aprendizaje según las tres dimensiones del aprendizaje: la conceptual, la procedimental y la actitudinal. Más concretamente, la dimensión conceptual hace referencia al conocimiento de datos, teorías o principios; en esta dimensión pueden enmarcarse las concepciones alternativas. La dimensión procedimental alude a las destrezas o procedimientos tanto físicos como mentales, aquí se encontrarían las formas de razonamiento. Y, por último, la dimensión actitudinal recoge actitudes y valores y, por ende, las actitudes negativas pertenecen a esta dimensión.

En los siguientes subapartados, se llevará a cabo un análisis de las causas de aprendizaje mencionadas previamente y se justificará su relación con la aparición de las dificultades de aprendizaje.

4.3.1. Concepciones alternativas

De todas las posibles causas de las dificultades de aprendizaje, las concepciones alternativas son con diferencia las más estudiadas dentro de la didáctica de las ciencias.

Según (Carrascosa, 2005), los errores conceptuales se definen como “respuestas contradictorias con los conocimientos científicos, ampliamente extendidas, que se suelen dar de manera rápida y segura (...), que se repiten insistentemente y que se hallan relacionadas con determinadas interpretaciones de diversos conceptos científicos”. Es necesario resaltar este término que constituye uno de los antecedentes para el surgimiento de las concepciones alternativas como línea de investigación. En concreto, se asocia a las concepciones alternativas como la principal causa de los errores conceptuales.

Las concepciones alternativas son aquellas ideas previas al aprendizaje que se organizan en esquemas cognitivos coherentes, son resistentes a ser modificadas, se extienden a diferentes aspectos de la ciencia por sus diversos orígenes, y algunas pueden asemejarse a ideas incorrectas

surgidas durante la historia de la ciencia. Un razonamiento coherente con las concepciones alternativas resulta erróneo y dificulta la comprensión de los fenómenos físicos al no coincidir o contradecir los conocimientos científicos. A pesar de ello, las concepciones alternativas forman parte de la cultura por lo que son ideas muy arraigadas en la mente de estudiantes y profesores y pueden suponer una barrera muy difícil de superar.

A continuación, se exponen las posibles causas que pueden llevar a la formación de concepciones alternativas. Entre estas se encuentran: la influencia de las experiencias cotidianas, la influencia de la comunicación verbal, visual y escrita, los libros de texto, la metodología utilizada en el proceso enseñanza-aprendizaje y la inteligencia artificial.

4.3.1.1. Influencias de las experiencias cotidianas:

En la vida cotidiana se observan fenómenos relacionados con la física todos los días. Estas experiencias pueden llevar a la formación de ideas previas debido a que en la explicación de estos fenómenos se utiliza un razonamiento superficial en el que no se tiene en cuenta otros factores no tan evidentes. Un ejemplo muy común es el suponer que los objetos de mayor masa tardan menos en caer al suelo ya que así ocurre en la realidad al dejar caer por ejemplo un lápiz y un papel. En este caso no se tiene en cuenta el rozamiento con el aire lo que lleva a la conclusión previamente mencionada. (Carrascosa, 2005) Precisamente, son estas experiencias las que refuerzan de una manera más efectiva este tipo de razonamientos ya que son ideas coherentes con la “realidad” observada.

En el caso del electromagnetismo, a diferencia de la mecánica, los fenómenos no se observan con tanta facilidad y asiduidad, pero también existen concepciones alternativas. Por ejemplo, algunos casos para considerar son: pensar que los electrones se desplazan por los circuitos eléctricos a velocidades muy altas ya que al pulsar un interruptor la electricidad llega “instantáneamente” a los aparatos eléctricos, o considerar que todos los metales son atraídos por un imán. Bajo este razonamiento se ignora los posibles diferentes comportamientos frente a un campo magnético (paramagnético, diamagnético, ferromagnético...) y, por consecuencia, la posible atracción o repulsión de un metal con respecto al imán.

4.3.1.2. Influencia de la comunicación verbal, visual y escrita:

La inherente presencia de los fenómenos físicos en la vida diaria se refleja en el uso de un lenguaje cotidiano para describir estos fenómenos a través de expresiones y términos que surgen de la experiencia o ya existentes. La problemática surge de la imprecisión de este lenguaje que puede dar lugar a una interpretación incorrecta de estos fenómenos y al surgimiento de concepciones alternativas.

Por otra parte, los medios de comunicación como la televisión, los libros o Internet también pueden reforzar o generar concepciones alternativas debido a la causa explicada anteriormente o por la transmisión de concepciones alternativas ya existentes. Un ejemplo actual de estas concepciones es la extendida creencia de que los teléfonos móviles emiten radiación que provoca cáncer. El desconocimiento del concepto de onda electromagnética y sus características

provoca que surjan ideas que busquen apoyar o explicar la posible peligrosidad de nuevos fenómenos que resultan desconocidos. (Carrascosa, 2005)

Dentro del cine, las películas de ciencia ficción asimismo pueden contribuir a la aparición de concepciones alternativas. A modo de ejemplo, en “La guerra de los mundos” se muestra una cámara digital funcionando tras una tormenta eléctrica que ha dejado inutilizables los aparatos eléctricos; o en “X Men” el personaje Magneto es capaz de controlar la sangre a través del hierro que contiene, a pesar de estar en un estado oxidado y no poder magnetizarse. (Petit & Solbes, 2016)

Debido a la gran relevancia que las redes sociales tienen en nuestra sociedad actual, se le dedicará un pequeño apartado a continuación:

◆ **Influencia de las redes sociales:**

En el S.XXI, las redes sociales como Youtube y Tik Tok están muy presentes en la vida de los estudiantes de Secundaria. A menudo, son utilizadas por los docentes como recurso educativo y, en muchos casos, para los alumnos actúan como un apoyo o una vía alternativa a las explicaciones recibidas de sus profesores. Estas plataformas digitales como Youtube o similares son valoradas muy positivamente por alumnos y entre sus ventajas cabe mencionar la transmisión de conceptos en formato audiovisual, que hace que la información sea más atractiva y accesible. Además, la posibilidad de dejar comentarios en los vídeos permite a los estudiantes interactuar y preguntar sus dudas al creador o a otros alumnos. (Valverde & González, 2024)

Los vídeos explicativos o de ejercicios resueltos, que cuentan con mayor popularidad, ofrecen nuevas formas de estudio que fomentan la autonomía del alumnado, explicaciones alternativas y reproducibles a las tradicionales y la posibilidad de redistribuir los tiempos de estudio. En concreto, los Tik Toks y los “Shorts” de Youtube son vídeos de corta duración que transmiten información de manera directa y condensada sobre conceptos o fenómenos físico-químicos, por lo que captan la atención de los alumnos con facilidad. Sin embargo, aunque en el caso de estudiantes de Bachillerato no sea un hecho tan crítico por su mayor grado de madurez, en general los alumnos de Secundaria no disponen del sentido crítico necesario para determinar la fiabilidad del contenido que consumen, y son susceptibles de asimilar como cierta información falsa o sesgada. Asimismo, no es inusual que en este tipo de videos se den “recetas” o “trucos” para que los alumnos puedan resolver los ejercicios más rápidamente. Si bien, les puede servir como orientación, también cabe la posibilidad de que se acostumbren a realizar los ejercicios de forma mecánica y sin comprender ni razonar, y sin un contexto teórico que permita “encuadrar” y relacionar los conceptos físicos que se están aplicando. Todas estas características hacen que las redes sociales sean posibles fuentes de concepciones alternativas.

4.3.1.3. Libros de texto:

Los libros de texto son una fuente de información constante en la vida de los estudiantes, aunque en la actualidad estén siendo sustituidos por las fuentes recogidas en Internet o por sus correspondientes versiones electrónicas. Aunque menos frecuentemente que otras fuentes, es relativamente habitual encontrar información vaga, incompleta o completamente errónea en

libros de texto destinado a alumnos de Secundaria, que puede llevar al refuerzo o aparición de concepciones alternativas (Carrascosa, 2005). Es por tanto necesario que la veracidad y el rigor científico sea una característica prioritaria en la redacción de estos libros.

A parte del rigor científico existe otro factor de igual importancia, la adecuación cognitiva (Slisko J. , Errores en los libros de texto de física: ¿cuáles son y por qué persisten tanto tiempo?, 2005). Las concepciones alternativas condicionan los procesos cognitivos de los alumnos y por ende la forma de comprender los conceptos que deben estudiar. No basta con que la información sea científicamente correcta, también es necesario que lo sean otros elementos como la terminología, las explicaciones, la información visual o los números y los modelos matemáticos.

Todas estas características muestran que existe una gran disparidad entre la enseñanza de las ciencias y la investigación científica. Más concretamente, este hecho se ve reflejado en las siguientes características (Slisko, 2009):

- ◆ Los libros de texto utilizan el lenguaje y las imágenes como un complemento decorativo de las ecuaciones en lugar de servir como apoyo en las nuevas ideas.
- ◆ En los libros de texto la información puede ser imprecisa e incompleta.
- ◆ En los libros de texto, la aplicación de una ecuación a modo de ejemplo a veces no tiene sentido.
- ◆ En los libros de texto, los valores numéricos son inventados y pueden no ir acorde a la vida real.
- ◆ Los libros de texto a menudo mencionan hechos históricos de la ciencia de manera incorrecta e imprecisa.

Algunos ejemplos se pueden encontrar en un libro de texto de Física y Química usado en la República de Macedonia en un curso equivalente a 2º de la E.S.O. que trata conceptos de electromagnetismo estudiados en 2º de Bachillerato de nuestro sistema educativo. (Zajkov, Gegovska, & Mitrevski, 2016)

- ◆ “Si un hilo recto por el que pasa una corriente eléctrica se sitúa cerca de un imán, se verá que una fuerza actúa sobre el hilo.” En este caso, la terminología utilizada es incorrecta debido a que en este caso solo se verá que el hilo se desplaza y de ese resultado se extrae la conclusión de que está actuando una fuerza sobre este. El problema radica en que puede provocar que los alumnos confundan el fenómeno observado con las conclusiones.
- ◆ En la figura 1 se puede observar un dibujo cuya finalidad es mostrar la fuerza electromotriz inducida (U) en función del ángulo entre la superficie de la espira y el campo magnético (α). Este dibujo presenta varios errores. Por una parte, en el eje X deberían mostrarse los valores de α en lugar de los del tiempo que, además, son incorrectos. Situar los valores de α en la parte superior puede dificultar a los alumnos la interpretación de la imagen y dar lugar a errores conceptuales.

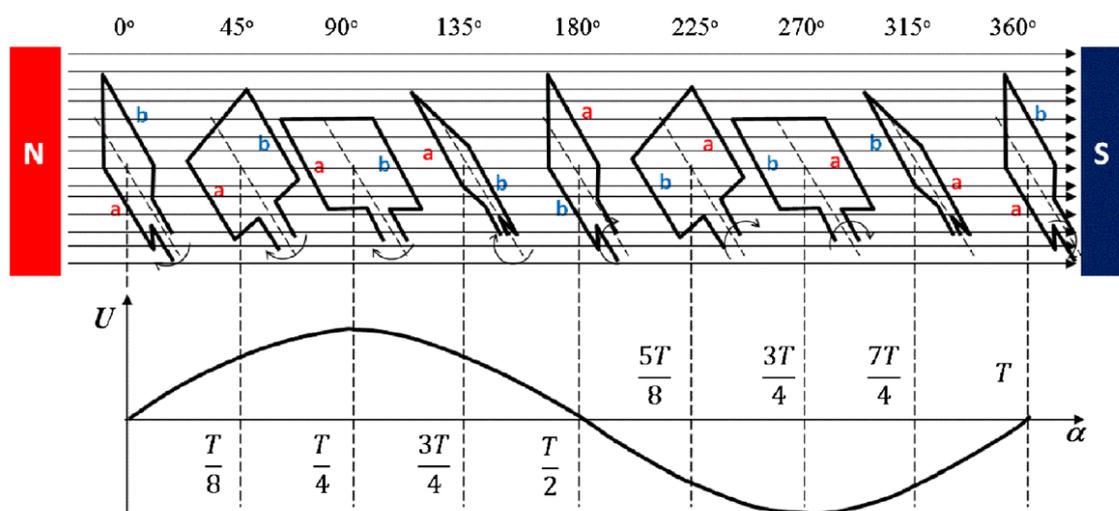


Figura 1: Dibujo ilustrativo de la generación de corriente alterna a partir del giro de una espira en un campo magnético uniforme. Extraído de (Zajkov, Gegovska, & Mitrevski, 2016)

También cabe hacer una breve mención a los problemas propuestos en los libros de texto, puesto que son habitualmente el recurso principal para la aplicación de los conceptos impartidos por el docente. Los enunciados de estos problemas en ciertas ocasiones contienen información o datos difícilmente observables en la vida real. Por esta razón, si se trata de analizar la validez de los resultados numéricos obtenidos aplicando, o bien los conocimientos adquiridos o bien realizando una estimación del orden de magnitud del resultado, es posible que aparezcan concepciones alternativas. En conclusión, a la hora de interpretar los resultados siempre se debe tener en cuenta que las leyes físicas se pueden aplicar en casos más sencillos que difieren de las situaciones reales, y pueden aportar resultados incompatibles con los fenómenos en la vida real. (Slisko, 2008)

4.3.1.4. Metodología utilizada en el proceso enseñanza y aprendizaje:

A parte de todas las fuentes de información expuestas anteriormente, los profesores de Secundaria actúan como el canal principal de transmisión del conocimiento científico para sus alumnos. Sin embargo, los docentes pueden ser responsables de la aparición de nuevas concepciones alternativas por dos motivos:

Por un lado, a pesar de su formación académica, los docentes también pueden presentar concepciones alternativas que hayan sido originadas por sus propios profesores o por las fuentes de información descritas previamente. (Carrascosa, 2005) Como consecuencia, estos profesores no solo es probable que no sean capaces de identificar las concepciones alternativas de sus alumnos, sino que además es posible que las transmitan y las refuercen. (Burgoon, Heddle, & Duran, 2010)

Por otro lado, una formación científica adecuada y completa no implica que el nivel de formación en didáctica sea igual de elevado. Si los docentes ignoran la existencia de concepciones

alternativas en sus alumnos y parten del supuesto de que estos no poseen ideas previas respecto a los contenidos a tratar, se caerá en el error de considerar que la mera explicación de los conceptos debería bastar para su correcta comprensión y asimilación. (Carrascosa, 2005) Y aunque otros docentes sí tienen en cuenta la existencia de concepciones alternativas, es habitual que subestimen su resistencia al cambio y que no proporcionen otras estrategias alternativas a la experimentación para corregir esas concepciones. (Burgoon, Heddle, & Duran, 2010)

4.3.1.5. Inteligencia Artificial:

Aunque la inteligencia artificial (IA) lleva presente en nuestra sociedad durante décadas, no ha sido hasta estos últimos años donde la inteligencia artificial ha sufrido un gran desarrollo en múltiples ámbitos, entre ellos, el ámbito educativo. Dentro del mundo de las IAs, una de las herramientas más ampliamente extendidas y cuyo uso ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años es ChatGPT. (Number of ChatGPT Users (Apr 2024), s.f.)

En la mayor parte de los casos ChatGPT es correcto en sus respuestas, especialmente si son preguntas muy comunes o definiciones de conceptos ampliamente estudiados. Sin embargo, en cuestiones de mayor complejidad a nivel conceptual y que a menudo son fuente de dificultades de aprendizaje, ChatGPT puede dar respuestas erróneas o “dejarse convencer” por el alumno.

Si se le pregunta a ChatGPT sobre un tema relativamente básico dentro del electromagnetismo, este demuestra que, a nivel superficial, especialmente si se le exigen definiciones “de libro”, es perfectamente capaz de dar una respuesta precisa y correcta. Sin embargo, al intentar hacer uso de esta herramienta para comprender el concepto en sí a través de las preguntas que podría hacer un alumno a un profesor, ChatGPT no es capaz de resolver las dudas y es relativamente sencillo amoldarlo al razonamiento e ideas del usuario que lo utiliza. Esto constituye un grave peligro para aquellos alumnos que usen ChatGPT como tutor personal y que no sean capaces de distinguir o corroborar si las respuestas de ChatGPT son correctas.

Para resolver ejercicios de cierta complejidad, ChatGPT también presenta problemas graves. Mediante un ejemplo que puede encontrarse en el anexo III, se demostrará la gran cantidad de errores que puede llegar a cometer en la resolución de ejercicios. En concreto, se muestra la respuesta dada por ChatGPT a un problema de electromagnetismo de 2º de Bachillerato sacado de (Electromagnetismo. El campo magnético. Más ejercicios resueltos, s.f.), cuyo enunciado se incluye a continuación:

1.- Un electrón penetra con una velocidad inicial horizontal $v_0 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$ en una región en la que hay un campo eléctrico uniforme $E = 150 \text{ N C}^{-1}$ perpendicular a la trayectoria de entrada del electrón y creado por dos placas metálicas. Determina:

- La aceleración del electrón en la región del campo eléctrico.
- La ecuación de la trayectoria que sigue el electrón.
- La velocidad del electrón al salir del campo eléctrico y el aumento de su energía cinética teniendo en cuenta que la longitud de las placas es de 15cm.

Al intentar resolver el ejercicio, ChatGPT comete varios graves errores: falla en cálculos matemáticos sencillos como el orden de magnitud, en los razonamientos basados en conceptos de electromagnetismo, se apoya en símiles establecidos de forma errónea entre diferentes conceptos físicos y hace aproximaciones incorrectas de los resultados obtenidos. Este modo de resolver los ejercicios es muy similar al que suelen aplicar los alumnos que presentan dificultades de aprendizaje.

Todos estos fallos cometidos por ChatGPT, pueden dar lugar a nuevas dificultades de aprendizaje si los alumnos lo toman como una fuente fiable. ¿Esto implica que en la actualidad ChatGPT es una herramienta inservible en este ámbito? La respuesta es no.

Si bien es cierto que la información que ofrece es muchas veces incorrecta, este hecho abre la posibilidad a otro tipo de ejercicios. Una opción no muy explorada en este tipo de asignaturas pero que resulta más común en asignaturas de lenguas extranjeras es la siguiente. En lugar de partir de un problema no resuelto y hallar resultados, es posible partir de un problema ya resuelto y razonar si existen fallos en la resolución del problema y justificarlos a través de la teoría. Este tipo de ejercicios con la guía del profesor pueden resultar muy ilustrativos ya que ayudan a identificar y corregir posibles fallos, y fomentan el espíritu crítico en el uso de herramientas de la información.

4.3.2. Formas de razonamiento

No es de extrañar que el estudio de esta causa de dificultades de aprendizaje, junto con las actitudes negativas que se describirán en el apartado 4.3.3., apenas haya tenido relevancia, en comparación a las concepciones alternativas dentro de las líneas de investigación de la didáctica de las ciencias. Especialmente, si se recuerda que durante más de un siglo se ha trabajado bajo la suposición de que el dominio de la dimensión conceptual era condición necesaria y suficiente para lograr un aprendizaje adecuado en el ámbito de las ciencias experimentales. No obstante, la dimensión procedimental también juega un rol muy importante en el proceso de aprendizaje, concretamente, en la resolución de problemas.

Durante la resolución de problemas, tanto alumnos como profesores se ven a menudo tentados a aplicar un razonamiento superficial, con escaso rigor científico y sin realizar un análisis previo del enunciado que asegure su comprensión. A esta forma de abordar los problemas se la denomina metodología de la superficialidad, y supone un gran impedimento para el aprendizaje debido a que los estudiantes que la aplican se caracterizan por primar el uso de heurísticos sobre las reglas formales. Por un lado, las reglas formales implican el uso de un método sistemático aplicable de forma general, mientras que los heurísticos solo son válidos para casos concretos. En caso de aplicar heurísticos como reglas formales puede llevar a cometer errores durante la resolución y a crear dificultades de aprendizaje. (Campanario & Otero, 2000) Algunos de los heurísticos más comunes son los siguientes:

- ◆ *“Se tiende a abordar los problemas de acuerdo con los conocimientos que más se dominan, no necesariamente con los más relevantes para su solución.*
- ◆ *Se tiende a concebir un estado de equilibrio como algo estático; los equilibrios dinámicos son difíciles de concebir.*

- ◆ *La causalidad lineal es con frecuencia la base del razonamiento de los alumnos. Entre causas y efectos suele haber mediadores.*
- ◆ *El principio de causalidad se suele utilizar de manera lineal siguiendo la regla a mayor causa, mayor efecto.*
- ◆ *Se intenta encontrar algún tipo de semejanza (en un sentido amplio) entre las causas y sus efectos.*
- ◆ *De entre las causas posibles de un cambio, se suelen tener en cuenta las más accesibles y aquéllas que se recuperan más fácilmente de la memoria: las más recientes, las más cercanas espacialmente o las más frecuentes.*
- ◆ *Las causas que no se perciben directamente o se perciben con dificultad resultan difíciles de concebir y a menudo no se tienen en cuenta en el análisis de las situaciones abiertas.*
- ◆ *Ante fenómenos desconocidos, se aplican modelos correspondientes a fenómenos conocidos con los que exista algún tipo de semejanza (en muchas ocasiones esta semejanza tiene que ver con factores irrelevantes del fenómeno, pero fácilmente perceptibles).*
- ◆ *Cuando en un fenómeno complejo varias causas actúan de forma interactiva, se tiende a concebir su efecto de manera aditiva.*
- ◆ *Existen excepciones a todo tipo de reglas, incluso cuando las reglas son generales y sirven para todas las situaciones que pertenecen a una misma clase y los alumnos reconocen que ello es así. Esta pauta de razonamiento se puede asociar al dicho común no hay regla sin excepción.*
- ◆ *Una acumulación de pequeñas explicaciones no totalmente satisfactorias constituye una explicación global aceptable”.*

A parte de los heurísticos, se han descrito otras formas de razonamientos bajo otra clasificación diferente, las formas de razonamiento de “sentido común”. Las formas de razonamiento de “sentido común” se pueden dividir en tres tipos: (Solbes, 2008)

- ◆ **Fijación funcional:** Consiste en la aplicación fórmulas tomando como único criterio de selección las variables que relaciona e ignorando si existe alguna condición que invalide su uso. En electromagnetismo es bastante común aplicar la regla de la mano derecha con la mano izquierda y viceversa, lo que puede dar lugar a fallos matemáticos por el signo. También se observa al aplicar la fórmula del módulo de la fuerza de Lorentz para cargas en reposo o que se desplazan paralelas al campo magnético $|\vec{F}| = q v B$ (omitiendo el término $\sin(\theta)$). Otro ejemplo, es el uso de la fórmula $\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$ en caso general, cuando esta solo es aplicable a campos magnéticos uniformes ya que el término \vec{B} puede sacarse de la integral en la siguiente expresión: $\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B}$.
- ◆ **Reducción funcional:** Tiene lugar al reducir de manera injustificada a única variable la dependencia de una función que se ve afectada por más de una variable. En inducción electromagnética, resulta frecuente que el estudiante considere que sólo se produce este fenómeno cuando existe una variación en el tiempo del módulo del campo magnético, sin tener en cuenta el resto de los elementos que pueden dar lugar a la variación temporal del flujo del campo magnético a través de una superficie. Como la propia superficie, o ángulo relativo en entre el vector de campo magnético y el vector que caracteriza la superficie.

- ◆ Razonamiento secuencial lineal: Afecta en especial medida a la resolución de problemas, ya que es frecuente encontrar estudiantes que presentan dificultades para considerar un problema desde un punto de vista holístico. Es más sencillo tratar el problema como partes aisladas ignorando el posible efecto que puedan ejercer entre ellas. Este caso es bastante común en la resolución de circuitos eléctricos donde se tiende a estudiar los elementos que lo conforman por separado ignorando los efectos que puedan tener sobre otras partes del circuito.

4.3.3. Actitudes negativas

Una última causa de dificultades de aprendizaje a tratar son las actitudes negativas. La actitud de un estudiante hacia las ciencias es uno de los mayores condicionantes que existe para su aprendizaje. El desinterés o el puro rechazo del propio alumno hacia una materia puede tener una repercusión mucho mayor que cualquier recurso o metodología que el docente trate de utilizar para lograr un aprendizaje significativo. Por este motivo, es crucial incentivar su estudio a través de la motivación extrínseca para mejorar o mantener la disposición del alumno hacia la asignatura.

Desde el punto de vista de las motivaciones extrínsecas, la actitud hacia las ciencias no solo viene condicionada por la metodología o recursos empleados por el docente para transmitir los conocimientos. La imagen que los medios de comunicación como las películas, Internet o la televisión muestran de las ciencias, también tienen un gran impacto en la concepción de la física y la química como un tema interesante y útil o como una asignatura incomprensible y complicada. (Solbes, 2009)

En especial las películas pertenecientes al género de ciencia ficción son en parte responsables no solo de fomentar la aparición de concepciones alternativas como se mencionó previamente, sino de además de influir tanto en la opinión que los estudiantes se forman de las ciencias como sus expectativas en cuanto a las características de los científicos, su influencia en los avances y la sociedad, el método de trabajo o su finalidad. (Petit & Solbes, 2016) Esta influencia puede resultar positiva al despertar el interés por las ciencias como en el caso de series como “The Big Bang Theory” o películas como “Avatar”, y además muestran una visión de absoluta confianza en la posibilidad del desarrollo científico. No obstante, la visión mostrada no siempre es positiva ya que es frecuente la aplicación de la ciencia con fines perjudiciales para la sociedad o el planeta como se muestra habitualmente a través de futuros distópicos. (Petit & Solbes, 2016)

A pesar de su relevancia, las películas y las series solo son un caso concreto de uno de los múltiples factores que pueden afectar a la actitud hacia las ciencias. La valoración social de la ciencia se ha observado que es en parte negativa, debido a la existencia de grupos conservadores que se oponen a la ciencia u otros grupos que perciben las ciencias como campo de estudio difícil, poco accesible, aburrida y cuyas aplicaciones son peligrosas. Este hecho es más acusado para la Física y la Química en comparación con otras áreas de las ciencias.

Igualmente, este factor se encuentra íntimamente relacionado con la relevancia de las ciencias dentro del sistema educativo español. Su indicativo más representativo es el número de horas lectivas destinadas a asignaturas de ciencias dentro del horario lectivo. El Decreto 39/2022, de

29 de septiembre, establece que Física y Química solo se imparte en tres, en dos y en cuatro horas semanales para 2º, 3º y 4º de la E.S.O. respectivamente, siendo 3º de la E.S.O. el último año donde esta asignatura es obligatoria para todos los estudiantes. En el caso de Bachillerato, el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, la mayoría de las asignaturas obligatorias son de letras o ciencias sociales en el bachillerato científico-tecnológico, en contraste con el resto de las modalidades en las cuales solo se oferta una única asignatura de ciencias. (Solbes, Montserrat, & Furió, 2007)

En conclusión, la actitud a pesar de ser un factor muy relevante y fácilmente identificable dentro del aula suele ser convenientemente ignorada dentro de las líneas de investigación en la didáctica de las ciencias. El principal obstáculo para comenzar su análisis y tratamiento es la abstracción y complejidad del objeto de estudio. Es, por tanto, necesario realizar una delimitación del concepto de actitud y diferenciarlo de otros similares en primera instancia como la motivación, el comportamiento o los valores. (Solbes, 2008)

5. Propuesta didáctica

5.1. Descripción de la propuesta didáctica

La propuesta didáctica recogida en este TFM se ha planteado como una guía tanto para la detección como para la superación de dificultades de aprendizaje que puedan surgir durante el proceso de enseñanza-aprendizaje del bloque temático de electromagnetismo en 2º de Bachillerato. Sus destinatarios son los docentes que imparten la asignatura de Física en este curso y los objetivos principales recogidos en el apartado 2.1. determinan las metas que se pretenden lograr con la propuesta.

Atendiendo a la estructura de la propuesta, se comenzará realizando una descripción a rasgos generarles de la misma que consta de varias partes. Se comenzará dando una breve contextualización para indicar en qué centros o entornos es posible su implementación, se detallará la metodología que se seguirá durante la puesta en práctica y las herramientas y estrategias que se llevarán a cabo durante las actividades que se propondrán y, por último, se determinará la contribución de la propuesta tanto a las competencias clave de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato como a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Una vez finalizada la parte descriptiva de la propuesta, se continuará con el apartado de Detección de dificultades de aprendizaje. En él se recogerán varios instrumentos que se ayudarán al docente a identificar las posibles dificultades de aprendizaje de electromagnetismo presentes en su alumnado.

A la sección anterior le seguirá un pequeño apartado en el que se incluirá un cuadro resumen de las dificultades de aprendizaje que se abordarán en la propuesta y que servirá como introducción para el apartado más extenso e importante de la propuesta que es el 5.4. Dificultades de aprendizaje. En esta parte se presentarán y describirán las características y las causas de las dificultades de aprendizaje abordadas para finalmente presentar las actividades propuestas para la superación de estas dificultades a través del uso de las herramientas y estrategias descritas previamente.

Las dificultades de aprendizaje se han clasificado en cuatro grupos atendiendo a su relación con partes concretas del electromagnetismo y sus correspondientes actividades quedan asignadas de la siguiente forma:

- ◆ Instrumentos matemáticos: actividad 0.
- ◆ Concepto de campo: actividades 1 y 2.
- ◆ Electrostática: actividades 3 y 4
- ◆ Magnetismo: actividad 5
- ◆ Inducción electromagnética: actividad 6

En la parte final se recoge la evaluación de la propuesta, en concreto se detallan los instrumentos a utilizar para la evaluación de los alumnos tras la realización de la propuesta. De esta forma se constatará el efecto de la propuesta en las dificultades de aprendizaje estudiadas mediante el grado de cumplimiento de los objetivos específicos, así como de la adquisición de competencias clave mediante los criterios de evaluación.

5.1.1. Contextualización

Esta propuesta didáctica va dirigida a un centro escolar de Castilla y León que disponga de los recursos necesarios para la realización de la propuesta como un proyector, ordenadores con conexión a Internet para el uso de aplicaciones y otros recursos audiovisuales, y de un laboratorio o un aula en el que puedan realizarse las experiencias de cátedra de manera adecuada. Gracias a que los materiales requeridos para las experiencias de cátedra, que se especificarán dentro la actividad 1, y para el resto de las actividades son baratos y fáciles de adquirir, se facilita la ejecución de esta propuesta didáctica en centros con menos recursos o en centros rurales. Además, debido a que los contenidos tratados en esta propuesta son comunes a otras comunidades autónomas hace que esta propuesta sea trasladable a otros centros localizados fuera de Castilla y León.

Las clases deben contar aproximadamente con 20 alumnos que cursen Física en 2º de Bachillerato, si bien es posible que la proporción aumente según la disponibilidad de recursos por parte del centro. La edad de los estudiantes se encuentra entre los 16-17 años lo que les confiere cierta madurez y disciplina en el estudio en comparación a cursos inferiores. Aun así, hay que considerar que existen diferencias entre los estudiantes en cuanto a la motivación, el rendimiento académico y el método de trabajo. Mediante el enfoque hacia la detección y superación de las dificultades de aprendizaje, se busca precisamente adaptar el proceso de enseñanza-aprendizaje a estas diferencias.

5.1.2. Metodología y herramientas

Esta propuesta didáctica se ha ideado con la finalidad de ser fácilmente implementable en una asignatura de gran extensión como Física en un curso con el tiempo tan limitado como lo es 2º de Bachillerato. Por lo tanto, el enfoque no consistirá en aplicar metodologías alternativas a la metodología tradicional, para posteriormente medir los efectos que esta pueda haber tenido en el aprendizaje del alumnado. Hecho habitual dentro de la línea de investigación de las dificultades de aprendizaje, y justificado por los numerosos estudios mencionados en el apartado 4.2. de antecedentes. En su lugar, la propuesta se ha enmarcado dentro la vertiente

que aboga y se centra en el uso de diferentes herramientas y estrategias que actuarán como apoyo a la metodología tradicional. Las herramientas se aplicarán a través de las actividades propuestas para conseguir superar las dificultades de aprendizaje detectadas en el aula.

Una vez determinada la metodología a utilizar durante la propuesta, se procede a la descripción de las herramientas y estrategias que se utilizarán en las actividades:

Actividad 0

En la actividad 0 perteneciente al apartado 5.4.1., se podrá el foco en la interdisciplinariedad entre matemáticas y física como estrategia. La interdisciplinariedad en educación se entiende como *“el uso de la cohesión y la coordinación entre diferentes áreas para construir nuevos conocimientos o resolver problemas comunes.”* La idea principal consiste en combinar herramientas, conceptos y métodos pertenecientes a diferentes ámbitos pero que presentan características comunes, como es el caso de las Matemáticas y la Física, para conseguir un beneficio mutuo, pero sin perder la integridad de ambas áreas.

La conexión entre estas dos ramas se basa por una parte en las herramientas y el lenguaje que las Matemáticas aportan a la Física para los cálculos cuantitativos, mientras que la Física proporciona problemas que motivan el desarrollo de nuevas herramientas matemáticas o proveen contexto que facilita la comprensión de los conceptos matemáticos. (Chau, Duc, & Tong, 2021)

La interdisciplinariedad puede implementarse de tres formas:

- ◆ Establecimiento de conceptos clave: Los conceptos matemáticos clave se caracterizan por ser conceptos generales, lo que les dota de un rango de aplicación más amplio. Identificar estos conceptos clave y su aplicación en otras ramas en forma de otros conceptos más específicos, facilita establecer conexiones entre las Matemáticas y otras ciencias.
- ◆ Contextualización: Al plantear situaciones en las que los conceptos adquieren un significado más completo se promueve la comprensión de estos conceptos. En la evolución histórica de las ciencias y las Matemáticas se encuentran múltiples situaciones en las que el origen de nuevas ideas surge de la necesidad de poner solución a los problemas pertenecientes a otras áreas.
- ◆ Problemas centrales: La resolución de este tipo de problemas requiere de conocimientos relativos a Matemáticas y a otras ciencias. De esta manera, se crean situaciones favorables para la comprensión del origen de conceptos utilizados en distintas áreas y a la vez que actúan de puente entre estas al ser estudiados desde perspectivas diferentes.

En la actividad se propondrán problemas centrales para abordar la relación entre la Física y las Matemáticas desde la interdisciplinariedad.

Actividad 1

La actividad 1 del apartado 5.4.2. se ha dividido en dos partes. Para la primera parte se utilizará como estrategia el diálogo entre el docente y los alumnos con el objetivo de lograr la construcción de conocimientos, aplicado a conceptos de electromagnetismo. El enfoque comunicativo resulta de gran utilidad para explorar los conceptos trabajados en el aula a un nivel más personal a través de la comunicación oral. La interacción entre el docente y los alumnos puede clasificarse en cuatro categorías atendiendo a dos dimensiones diferentes (Scott, 2009):

- ♦ Según la participación activa del alumnado, puede ser interactiva (sí participa) o no interactiva (no participa).
- ♦ Según el foco de la interacción, puede dialógica (si se centra en explorar las ideas de los alumnos) o autoritaria (si se centra explorar el punto de vista de la ciencia).

En concreto, se ha escogido el estilo autoritario interactivo ya que se pretende que el alumnado comprenda la definición de un concepto concreto y aprenda a distinguirlo de otros que pueden causar confusión.

En la segunda parte de la actividad se hará uso de las experiencias de cátedra. Su interés principalmente radica en el fomento de la comprensión de fenómenos naturales mediante su observación y experimentación directa. Además, cuentan con la ventaja de poseer una mayor versatilidad en comparación a las prácticas de laboratorio. Esta herramienta se enmarca dentro de la teoría constructivista al proporcionar experiencias previas en las que el alumnado puede aplicar el método científico y construir su conocimiento en base a estas.

Asimismo, las experiencias de cátedra poseen varios aspectos positivos como el aumento de la comprensión de los fenómenos físicos, el fomento de la motivación y de una actitud positiva hacia las ciencias al mostrar su utilidad en situaciones reales, y la relación entre el trabajo experimental y la vida cotidiana. (Dorrío & Vieites, 2007) Aunque en esta actividad se haya propuesto el uso de laboratorio virtuales como alternativa a las experiencias de cátedra, la descripción de esta herramienta se abordará en la actividad 6.

Actividad 2

La actividad 2 perteneciente al apartado 5.4.2. se centrará en la comprensión y contextualización del electromagnetismo desde una perspectiva histórica. Se ha escogido hacer un estudio del electromagnetismo desde un enfoque histórico con el fin de corregir la imagen irrealista de las ciencias que presentan los alumnos que carecen de esta perspectiva. Es más, esta carencia puede provocar que algunos de estos alumnos posean una visión negativa de las ciencias, muestren falta de motivación en su estudio, o a causa del modo en el que se enseñan los contenidos, consideren que las ciencias constituyen un área poco accesible. Este último caso se encuentra íntimamente relacionado con la idea de que el desarrollo de las ciencias es atribuible a unos pocos genios a los que se les “ocurre” nuevas teorías por el mero hecho de ser inteligentes, ignorando todas las investigaciones y avances logrados por otros científicos de menor renombre. (Solbes & Traver, 2001)

Presentar los contenidos desde una visión histórica puede contribuir positivamente a la actitud de los alumnos en diversos aspectos:

- ♦ Entender las ciencias como una construcción de conocimientos progresiva y colectiva en lugar de un conjunto de descubrimientos espontáneos.
- ♦ Conocer las crisis dentro de la evolución histórica en las ciencias que han llevado al cambio y sustitución de los paradigmas científicos.
- ♦ Valorar las contribuciones de los distintos científicos a la ciencia y a la sociedad, y el papel de los experimentos científicos en la comprensión de la realidad y en los avances de la investigación.

Actividad 3

La actividad 3 descrita en el apartado 5.4.3. se basará en el uso de analogías como recurso para facilitar la comprensión de conceptos de carácter más abstracto como el potencial eléctrico. Antes de pasar a definir lo que es una analogía es imperativo aclarar qué relación presenta con el aprendizaje.

El aprendizaje es un término que abarca muchos aspectos de la enseñanza, por lo que se han realizado diversas clasificaciones en base a diferentes aspectos. La clasificación realizada por Rumelhart y Norman (1981), toma como criterio los esquemas presentes en la estructura cognitiva del discente y divide el aprendizaje en tres tipos: acumulación, evolución de esquemas y creación de esquemas. Estos dos últimos tipos se identifican con la creación de nuevos esquemas dentro de la estructura cognitiva, a diferencia de la acumulación en la que la información se incorpora a esquemas ya existentes. Las analogías cobran protagonismo en la evolución y creación de esquemas puesto que se encargan de trasladar estructuras de un dominio ya conocido a otro nuevo. También es destacable la capacidad de las analogías de facilitar el aprendizaje de un concepto nuevo, acercándolo a ideas ya conocidas y convirtiendo conceptos abstractos en imágenes más concretas. (Duit, 1991)

En términos generales, se puede afirmar que las analogías juegan un importante papel dentro del aprendizaje debido a que permiten visualizar y comprender conceptos abstractos al asemejarlos a aspectos de la vida real. Así se consigue un cambio conceptual y en ciertos casos se pueden usar como método dirigir el interés del alumnado hacia el aprendizaje provocando un impacto positivo en su actitud. Además, desde el punto de vista constructivista, las analogías son beneficiosas al forzar al profesor a ligar los conocimientos previos del alumnado con los conocimientos a crear.

Por contra, las analogías no están exentas de inconvenientes que pueden obstaculizar el entendimiento de nuevos conceptos. En particular, una analogía se establece entre dos dominios similares en muchos aspectos, pero no exactamente iguales. De estas diferencias pueden surgir nuevas dificultades de aprendizaje en el alumnado. Por este mismo motivo, es necesario que sean los propios alumnos los que establezcan la analogía. Si un dominio no se comprende en su totalidad al tratar de realizar la transferencia hacia un nuevo ámbito, esa incompreensión también se trasladará. En conclusión, es el docente el que debe tener en cuenta la estructura cognitiva de los alumnos e impulsar el uso correcto de las analogías para construir nuevos conocimientos sin introducir nuevas dificultades.

Actividad 4

El foco de la actividad 4 del apartado 5.4.3. se encuentra en las relaciones entre conceptos, por lo que la herramienta más adecuada para esta actividad son los mapas conceptuales. Un mapa conceptual se define como: “Un diagrama que indica las relaciones significativas entre conceptos y sirve para representar las interacciones que dan lugar a proposiciones con las que se expresa el significado que se les atribuye a los conceptos”.

En los mapas conceptuales, los conceptos se unen a través de nexos para construir proposiciones que justifican la relación entre dos conceptos y les otorgan de sentido. Esta representación gráfica de las ideas relativas a un contenido y sus conexiones permite reflejar la organización de la información en la estructura conceptual de quien construye el mapa, al igual que sirve como herramienta para facilitar la retención de esos conocimientos.

Dentro del marco de la teoría constructivista, los mapas conceptuales juegan un papel relevante. Al ser un recurso que permite al estudiante ser consciente y reflexionar sobre su conocimiento y la organización de los conceptos aprendidos, hace que este adopte un rol activo y central en la construcción de nuevos conocimientos y, por lo tanto, favorece un aprendizaje significativo. (Palmero & Moreira, 2018)

A la hora de aplicar esta herramienta en el aula, es necesario que sean los alumnos los que construyan sus correspondientes mapas conceptuales seleccionando los conceptos a incluir, así como los conectores y las relaciones a establecer de manera colaborativa con la ayuda de profesor. Si en su lugar, es el docente el que proporciona un mapa conceptual al alumnado, es posible que estos recurran al aprendizaje memorístico de este mapa en lugar de tratar de reflexionar sobre sus propios conocimientos y su estructura cognitiva. (Moreira, 2010)

Actividad 5

La herramienta que se utilizará en la actividad 5 correspondiente al apartado 5.4.4. tiene cierta conexión con la herramienta utilizada en la actividad 3. Como se explicó en esa actividad, el uso de analogías puede resultar beneficioso para el aprendizaje de nuevos conceptos. Aunque también puede provocar la aparición de nuevas dificultades de aprendizaje, fruto de no tener en cuenta las diferencias existentes entre los dominios entre los que se establece la analogía. En este caso, es habitual utilizar las analogías para construir modelos que explique de forma sencilla ciertos fenómenos. El objetivo es poner el foco en los modelos que presentan ideas erróneas por el motivo anterior mediante la construcción de modelos como herramienta.

La construcción de modelos se entiende como un proceso en el cual se crea un conjunto de conceptos y proposiciones interrelacionadas que permiten explicar y prever fenómenos. Este proceso aplicado a la enseñanza permite construir conocimientos científicos y dispone de una serie de etapas a seguir para su implementación:

- ◆ Inicialmente para poder elaborar un modelo mental es necesario dos elementos: tener experiencias con el objeto a modelar y elegir el origen del modelo. Al elegir el origen del modelo entra en juego las analogías establecidas de manera espontánea por el alumno o con la ayuda del docente, y es en este paso en el cual pueden surgir concepciones alternativas si no se tienen en cuenta las limitaciones de las analogías por las diferencias entre los dos dominios.

- ◆ Una vez creado el modelo mental, es necesario expresarlo mediante una representación. Si bien es posible dejar como decisión al alumnado la forma de la representación, en este caso se les permitirá una única forma de representación para facilitar la ejecución de esta etapa en el aula.

Estas dos etapas se ponen en práctica inicialmente de manera individual y posteriormente se forman grupos pequeños para llegar a un modelo consensuado tras establecer las similitudes y diferencias de los modelos elaborados por cada integrante del grupo. Durante este proceso, el docente debe tomar el papel de moderador y favorecer la discusión de los diferentes aspectos de los modelos propuestos a través de preguntas y sugerencias.

Posteriormente, cada grupo deberá exponer y defender su modelo al resto de la clase. En esta etapa, el profesor deberá impulsar la negociación de ideas entre los grupos y generar oportunidades para que los alumnos puedan poner a prueba sus modelos. Esto se llevará a cabo a través de preguntas que expongan las posibles inconsistencias de aquellos modelos que presenten ideas erróneas no detectadas por los alumnos.

- ◆ Dentro de la discusión se puede dar paso a la etapa de comprobación de modelos, en la cual el docente presentará situaciones o datos que no puedan ser explicados totalmente por los modelos propuestos inicialmente. Estas situaciones junto con la discusión con otros grupos llevarán a la reformulación de los modelos iniciales de forma que finalmente se logre llegar a un modelo consensuado por toda la clase. En caso de que los modelos presentados por los alumnos no se acerquen al modelo curricular, el docente deberá introducirlo como otra alternativa a ser considerada al igual que el resto de los modelos analizados.
- ◆ En la última etapa, a través de preguntas se establecerá la validez y las limitaciones del modelo consensuado para indicar que el modelo no es definitivo y puede sufrir alteraciones. (Justi, 2006)

Actividad 6

Por último, para la actividad 6 recogida en el apartado 5.4.5. se ha considerado que la herramienta más apropiada es el laboratorio virtual, el cual puede definirse como *“una herramienta informática que ha introducido nuevas formas de comprender el proceso educativo con una participación interactiva de profesores y estudiantes en diferentes áreas de conocimiento.”* Este instrumento ha despertado un gran interés por potenciar el rol del docente como apoyo pedagógico, la autonomía y la participación del alumno, y por permitir el diseño de nuevas actividades con recursos interactivos.

Los laboratorios virtuales, si bien no son totalmente equiparables a unas prácticas de laboratorio, son una reproducción de estas últimas y, por tanto, comparten la capacidad para facilitar la construcción del conocimiento científico. Se consigue a través de la práctica y el desarrollo de habilidades relacionadas con la comprensión de conceptos, el análisis de resultados y la obtención de conclusiones. (León, Godoy, Donoso, & Campoverde, 2021) Este instrumento proporciona modelos de fenómenos físicos cuyas propiedades y características pueden ser examinadas por los estudiantes, y ser utilizados para resolver problemas de manera similar al modo de trabajo de los científicos. (Amadeu & Leal, 2013)

Se han realizado múltiples estudios analizando la aportación y el impacto de los laboratorios virtuales a la enseñanza. Uno de los beneficios de este tipo de laboratorio es la posibilidad de poseer un control completo sobre el entorno al ser una simplificación de la realidad, lo que puede evitar los inconvenientes a la hora de observar un fenómeno, a la par que permite un manejo más controlado de las variables a estudiar. (Reyes & Tellez, 2022) De esta manera, favorece que el docente pueda implementar en sus explicaciones representaciones dinámicas de conceptos y fenómenos, que pueden resultar más ilustrativas que las imágenes o descripciones. En especial, son muy útiles en el estudio de fenómenos dependientes del tiempo y el espacio como es el caso de la inducción electromagnética. Además, los laboratorios virtuales están disponibles de forma gratuita en la web lo que les dota de accesibilidad.

A pesar de todas las ventajas mencionadas en el párrafo anterior no se debe asumir que el uso de los laboratorios virtuales siempre vaya a generar un efecto positivo en el aprendizaje del alumnado. Existe cierta paridad en las investigaciones que se han mostrado tanto a favor de los laboratorios virtuales como las que se posicionan en contra. Aun así, todas concluyen que un uso efectivo del ordenador como recurso didáctico debe ir acompañado de una guía por parte del docente. Más específicamente, el profesor tiene por deber proporcionar conocimientos previos sobre el fenómeno a estudiar y el uso del laboratorio virtual, y auxiliar al alumnado durante la realización de la actividad en la interpretación de resultados y la formulación de hipótesis. (Amadeu & Leal, 2013)

5.1.3. Contribución a las competencias clave

La propuesta didáctica presentada en este trabajo mediante sus actividades contribuirá al desarrollo de las competencias claves establecidas en el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre para la asignatura de Física de 2º de Bachillerato presentadas en el apartado 3.1.2.:

CCL: La capacidad de explicar fenómenos físicos de forma oral y escrita y su comprensión se trabaja en las discusiones realizadas en la actividad 1 sobre la definición de campo, en la actividad 2 durante las exposiciones de las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en la vida cotidiana y por último en el debate sobre los modelos sobre la interacción magnética de la actividad 5.

CP: Para el uso del laboratorio virtual de PhET en la actividad 6, se requiere de la comprensión y conocimiento de una lengua extranjera, inglés en este caso. Asimismo, permite dar a conocer el nombre que se les da a varias magnitudes físicas relacionadas con la inducción electromagnética como el campo magnético (magnetic field) en este idioma.

STEM: Esta competencia se trabaja de manera transversal en todas las actividades de la propuesta. En especial, la competencia matemática se desarrolla en la actividad 0 al aplicar razonamientos matemáticos a problemas físicos y la competencia en ciencias en las actividades 1 y 6 al aplicar la experimentación y observación.

CD: El uso de aplicaciones y laboratorios virtuales en las actividades 1, 3 y 6 permiten desarrollar esta competencia y pueden servir como introducción al manejo de herramientas digitales más complejas como los simuladores. En caso de que los mapas conceptuales y las líneas temporales de las actividades 4 y 2 respectivamente, se construyan utilizando programas como Canva también contribuirán a la adquisición de esta competencia.

CPSAA: La metacognición, la gestión de la información y la organización sobre los conocimientos propios se fomentan a través de herramientas como las líneas temporales de la actividad 2, los mapas conceptuales de la actividad 4 y la construcción y defensa de modelos en la actividad 5.

CC: La línea temporal y las aplicaciones de la actividad 2 aporta a los alumnos una visión más realista de los avances logrados por la ciencia y fomenta la valoración de las ciencias en la sociedad. Mientras el diálogo y el respeto hacia otras personas se trabaja en el debate de la actividad 5.

CE: La adquisición de estrategias y herramientas para la obtención de resultados según las necesidades tiene lugar en las actividades 0, 3, 4 y 5; mientras que la información para la toma de decisiones la aporta la actividad 2.

5.1.4. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible se definen como: *“un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.”* (Objetivos de Desarrollo Sostenible, s.f.)

Aunque en la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, no se recogen de manera explícita los ODS, sí que se plantea una educación alineada con estos objetivos. Con la presente propuesta se contribuirá al desarrollo de los siguientes ODS través de sus actividades:

- ◆ ODS 4: Educación de calidad: La finalidad principal de la propuesta didáctica es adaptarse a las necesidades del alumnado puesto que las actividades se basan tomando en consideración las dificultades de aprendizaje presentes en el alumnado. De esta manera, se contribuye a una educación de mayor calidad y más igualitaria.
- ◆ ODS 7: Energía asequible y no contaminante: Se desarrollará un mayor conocimiento sobre los avances de la comunidad científica en el ámbito del electromagnetismo que han permitido el desarrollo de nuevas fuentes de energía en la actividad 2.
- ◆ ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico: Las competencias necesarias a adquirir para el trabajo de un científico, se basan en el método científico y las habilidades necesarias para aplicarlo al estudio de fenómenos físicos. Estas se desarrollarán en las experiencias de cátedra de la actividad 1, el debate de la actividad 5 y el uso de laboratorios virtuales de la actividad 6.
- ◆ ODS 10: Reducción de las desigualdades: Los recursos necesarios para implementar esta propuesta en los centros escolares son baratos y de fácil adquisición lo que permite su realización en los centros escolares independientemente de su contexto socioeconómico.
- ◆ ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos: Aprender a escuchar y debatir sobre los conceptos científicos potencia el desarrollo de habilidades sociales necesarias para establecer alianzas y lograr alcanzar objetivos comunes, el debate de la actividad 5 desarrolla estas habilidades.

5.2. Detección de dificultades de aprendizaje

Antes de realizar las actividades que están diseñadas acorde a las dificultades de aprendizaje estudiadas en la propuesta, es necesario detectar e identificar cuáles de estas dificultades están presente y en qué medida están afectando al aprendizaje de los alumnos. En el ámbito educativo, una de las herramientas más útiles y habituales entre los docentes es la observación. Aunque esta herramienta se utilice todos los días dentro del aula de forma automática, es recomendable tomar nota de las dudas que les surgen a los alumnos durante las explicaciones en lugar de dar una explicación directa y escueta. En concreto, se debe prestar especial atención a aquellos conceptos que generan dudas con mayor frecuencia. La observación puede ayudar al docente a buscar posibles dificultades que hayan podido surgir durante las clases y, en caso de encontrarlas, pasar a utilizar instrumentos de detección algo más complejos como los cuestionarios y las entrevistas que se describirán a continuación.

En múltiples investigaciones dentro del campo de la detección de dificultades de aprendizaje se ha hecho uso de varias herramientas, siendo los cuestionarios una de las más utilizadas ya que permiten recoger información de una muestra grande en poco tiempo. Las preguntas de un cuestionario pueden abarcar diferentes áreas y las respuestas pueden ser recogidas en diferentes formatos como en tipo test o en forma de respuestas abiertas. En esta sección, se incluirá un cuestionario de respuesta abierta enfocado a detectar las dificultades de aprendizaje tratadas en esta propuesta didáctica. Las preguntas siguen el mismo orden de presentación que las dificultades de aprendizaje en el apartado 5.4. Cada pregunta de este cuestionario puede realizarse como si fuera un ejercicio en clase tras la impartición de la parte del bloque temático que se corresponda con la dificultad de aprendizaje a detectar, en lugar de resolver el cuestionario completo en una única sesión.

Cuestionario

1. En la figura inferior se ha representado tanto la dependencia con la distancia del módulo del campo eléctrico generado por una carga puntual positiva en la gráfica de la izquierda, como la dependencia con la distancia de su correspondiente potencial eléctrico en la gráfica de la derecha. A partir de las gráficas, explica la relación matemática existente entre el potencial eléctrico y el campo eléctrico y su interpretación física.

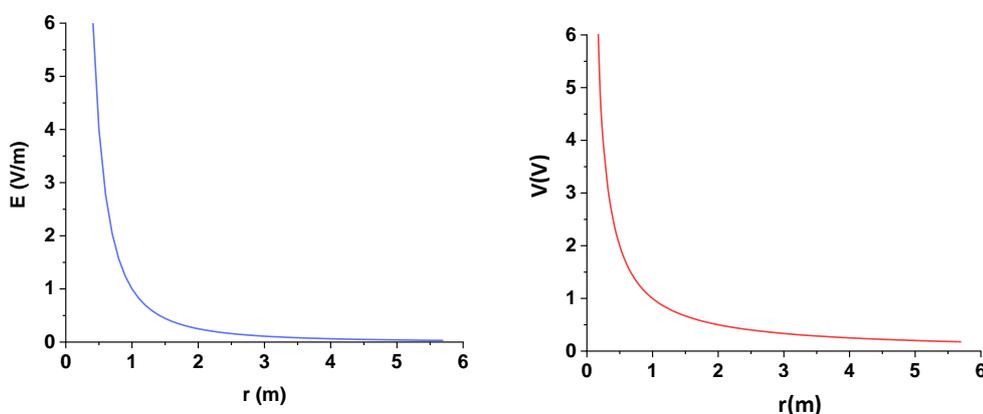


Figura 2: Izquierda: Representación del módulo del campo eléctrico generado por una carga puntual positiva frente a la distancia. Derecha: Representación del potencial eléctrico de una carga puntual positiva frente a la distancia. Fuente: elaboración propia.

- Una carga positiva q y otra carga negativa $-q$ se sitúan a una distancia $2d$ tal como se muestra en la figura 3. Dibuja el vector campo eléctrico total generado por ambas cargas en el punto P. Si ahora se sitúa una carga positiva q' en el punto P dibuja la fuerza que experimenta la carga q' debido a las cargas q y $-q$.

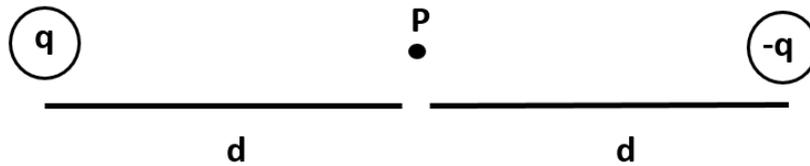


Figura 3: Representación de dos cargas puntuales separadas por una distancia $2d$. Fuente: elaboración propia.

- ¿Qué impacto tiene el concepto de campo eléctrico y campo magnético dentro de los avances del electromagnetismo?
- ¿La diferencia de potencial es una magnitud del campo eléctrico o de la carga colocada dentro del campo eléctrico? (Jimenez & Fernández, 1998)
- La figura 4 muestra las líneas equipotenciales en una región del espacio que rodea a dos cargas puntuales. Si se sitúa una carga positiva q en el punto medio de las dos cargas fuente tal y como se observa en la figura, ¿qué ocurriría? Justifícalo mediante el campo eléctrico, la energía potencial electrostática y el signo del trabajo.

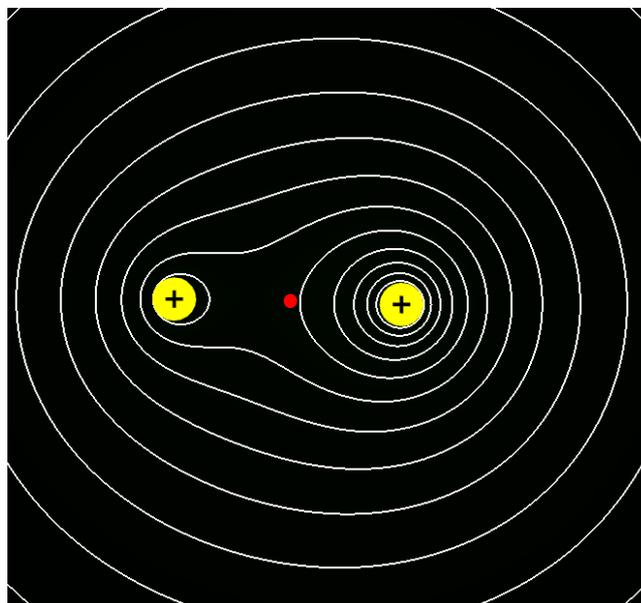


Figura 4: Líneas equipotenciales creadas por dos cargas positivas. Generada con (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.)

6. La línea de trazos de la figura 5 representa la dirección del campo magnético terrestre. En el punto A hay una brújula y en el punto B se encuentra una partícula en reposo cargada con una carga Q positiva.
- Dibuja sobre A una flecha que represente la orientación de la aguja de la brújula.
 - Explica las razones de tu respuesta.

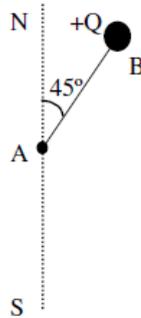


Figura 5: Dibujo correspondiente a la cuestión 5 del cuestionario. Extraída de (Guisasola, Almudí, & Zubimendi, 2003)

7. Sea una espira de radio R y un campo magnético B uniforme de manera que las líneas de campo magnético atraviesan el área de la espira perpendicularmente. Si en un intervalo Δt aumenta el campo magnético al doble de su valor inicial, ¿se induce fem en la espira? Si el área disminuye a la mitad en Δt manteniendo el campo magnético constante. ¿También se induce fem? ¿Y si ocurrieran ambos fenómenos a la vez?

Otro instrumento bastante usual para la detección de dificultades de aprendizaje son las entrevistas. Aunque el número de individuos de la muestra es más reducido que en los cuestionarios, cuenta con la ventaja de aportar información más detallada. A continuación, se incluyen algunas posibles preguntas para poder realizar una entrevista a los alumnos de forma individual, cuyas respuestas deberán quedar registradas en una grabación o mediante anotaciones para su posterior análisis. Las entrevistas se realizarán tras la impartición de los conceptos que se correspondan con las dificultades de aprendizaje tratadas en la propuesta, según el momento que el docente considere más conveniente.

Entrevista

- ¿Por qué se utilizan las derivadas para calcular la variación de una magnitud con respecto a otra en lugar de usar los incrementos? ¿El flujo de un campo vectorial se puede calcular siempre con el producto del campo vectorial y de la superficie que atraviesa o existe algún caso donde se necesite utilizar las integrales?

2. ¿Puedes explicar qué relación hay entre el campo eléctrico y el campo magnético con la fuerza eléctrica y magnética respectivamente? ¿Qué es un campo eléctrico y magnético y en que se traduce en la vida real?
3. ¿Es necesario el campo eléctrico y magnético para explicar las interacciones entre cargas e imanes respectivamente o es prescindible? ¿Podrías describir las ondas electromagnéticas mediante la fuerza eléctrica y la magnética?
4. ¿A partir de qué magnitudes podrías definir el potencial eléctrico? ¿Cómo relacionarías el potencial eléctrico con el campo eléctrico a nivel físico? ¿Qué ventajas aporta el concepto de potencial eléctrico a la descripción de la interacción entre cargas desde el punto de vista energético?
5. Partiendo de la expresión matemática que relaciona el campo eléctrico con el potencial eléctrico, ¿cómo representarías en un mapa de líneas equipotenciales esta relación entre el potencial eléctrico y el campo eléctrico? ¿Qué relación física presenta el potencial eléctrico con el trabajo y la energía potencial?
6. ¿Cómo interactúa un imán con una carga en reposo? ¿Y una carga en movimiento? ¿A qué se debe esta interacción?
7. ¿Qué magnitudes son relevantes en el estudio de la inducción electromagnética? ¿Es el campo magnético el causante de este fenómeno?

5.3. Índice de dificultades de aprendizaje

Como se mencionó en el apartado 3.2.1., las características de los saberes básicos en el bloque de electromagnetismo favorecen la posibilidad de que surjan multitud de dificultades de aprendizaje. Las causas que las originan son tan diversas que el volumen de dificultades de aprendizaje existente en cada grupo de alumnos es tal que es imposible tratar de identificar y superar todas y cada una de ellas en un solo trabajo. Es por este condicionante, por el que se ha elegido tratar las dificultades de aprendizaje o bien más persistentes o bien aquellas que atentan directamente a la comprensión de los pilares sobre los que se sustenta el electromagnetismo. La siguiente tabla recoge a modo de resumen las dificultades de aprendizaje analizadas en el presente trabajo, el ámbito al que pertenecen y la solución propuesta.

	Dificultad de aprendizaje	Ámbito	Solución
1	Desconocimiento del significado físico del cálculo diferencial y el integral.	Instrumentos matemáticos	Contextualización de derivadas e integrales mediante resolución de problemas.
2	Carencia de significado del campo eléctrico y magnético.	Concepto de campo	Discusión sobre el concepto de campo y experiencias de cátedra para visualizar líneas de campo eléctrico y magnético.
3	Necesidad del concepto de campo para la explicación de ondas electromagnéticas.	Concepto de campo	Construcción de línea temporal del electromagnetismo y búsqueda de sus aplicaciones.

4	Carencia de significado físico del potencial eléctrico.	Electrostática	Uso de analogía con el potencial gravitatorio.
5	Desconocimiento de la relación entre el potencial eléctrico y otras magnitudes físicas.	Electrostática	Mapa conceptual de magnitudes relacionadas con el potencial eléctrico e interpretación de mapas de líneas equipotenciales.
6	Concepción alternativa: asimilación de polos magnéticos a cargas eléctricas.	Magnetismo	Construcción y discusión de modelos sobre la interacción magnética.
7	Identificación incorrecta de las causas de la inducción electromagnética.	Inducción electromagnética	Uso de laboratorio virtual para la visualización y estudio de las magnitudes involucradas en la inducción electromagnética.

Tabla 3: Cuadro resumen de dificultades de aprendizaje

5.4. Dificultades de aprendizaje

A continuación, se expondrán las dificultades de aprendizaje a tratar en la propuesta realizando una breve descripción de estas, así como de sus posibles causas y finalmente se propondrá una actividad para cada dificultad de aprendizaje, en la que se hará uso de su correspondiente herramienta para conseguir la superación de las dificultades de aprendizaje.

5.4.1. Instrumentos matemáticos

Este apartado se limitará a abordar la primera dificultad de aprendizaje de la tabla 3 relacionada con los conceptos matemáticos.

Se desconoce el significado físico del cálculo diferencial y el cálculo integral aplicado a conceptos relacionados con el área de electromagnetismo.

La Física es una de las ramas de Ciencias más íntimamente relacionada con las Matemáticas ya que se nutre de ellas para construir un lenguaje imprescindible en el estudio cuantitativo y la interpretación de los fenómenos físicos. Sin embargo, a pesar de su relevancia, para los alumnos la aplicación de los conceptos estudiados en Matemáticas a los problemas físicos a menudo supone más un obstáculo que una ayuda para su aprendizaje y la comprensión de estos. La capacidad de calcular integrales y derivadas no implica una comprensión global de estos conceptos matemáticos. Hecho que se hace especialmente notorio durante la resolución de problemas en Física. Además, los alumnos pueden presentar actitudes negativas hacia las Matemáticas y la Física por no comprender la utilidad que las herramientas matemáticas tienen en la Física y la consecuente frustración de no comprender en qué casos pueden ser aplicadas. Esta visión puede crear otra barrera a superar si se aspira a establecer una conexión entre ambas áreas.

En el caso de las integrales, el principal impedimento se halla en la idea de límite. Los alumnos interpretan los límites como una cantidad inalcanzable lo que implica que, aunque logran establecer la relación entre el área bajo una curva y el concepto de integral al calcularse como el límite de la suma de Riemann, la integral se concibe como una aproximación y no como un

cálculo exacto por no comprender el concepto de infinitesimal. (Meredith & Marrongelle, 2008) Como resultado, los alumnos tampoco entienden la necesidad de aplicar las integrales a distribuciones continuas de carga o para hallar el flujo de un campo vectorial.

Por otra parte, las derivadas se estudian antes que las integrales por lo que los alumnos disponen de más tiempo para aprender a utilizar esta herramienta, pero tampoco se logra una conexión adecuada con los conceptos de Física. La razón de esta disociación se encuentra en el énfasis en el significado geométrico de las derivadas sobre su significado físico. Esto implica que los estudiantes tienen facilidad para asociar la derivada a la pendiente de la recta tangente a una curva, pero no así a la variación de una magnitud con respecto a otra. Si bien es cierto que en mecánica sí que se logra establecer esta conexión al comprender que la velocidad y la aceleración son derivadas con respecto al tiempo de otra magnitud, esta relación no se logra transmitir a otras áreas. Esto limita el significado de derivada a la variación de la posición o la velocidad con respecto al tiempo en lugar de ser la variación de una determinada magnitud con respecto a otra que no tiene por qué ser el tiempo. (Chau, Duc, & Tong, 2021)

A pesar de que otros conceptos matemáticos como es el caso del cálculo vectorial también pueden actuar como obstáculos, en este apartado nos limitaremos a la dificultad que supone el cálculo diferencial y el cálculo integral.

Una comprensión correcta del cálculo diferencial y el integral y de sus aplicaciones es vital si se aspira a lograr un aprendizaje significativo de los conceptos físicos. Muchas magnitudes y leyes utilizadas en electromagnetismo se expresan matemáticamente a partir de las derivadas y las integrales. El concepto de flujo de un campo vectorial en el caso general se define como la integral de superficie del campo vectorial, y tiene relación con el cálculo de campos eléctricos a partir de la ley de Gauss y también está presente, por ejemplo, en la ley de Faraday-Lenz que describe la inducción electromagnética. Asimismo, las integrales son necesarias, entre otras cosas, para el cálculo de campos magnéticos generados por corrientes estacionarias mediante la ley de Biot-Savart. Respecto a las derivadas, son las que dan sentido al potencial eléctrico al facilitar el cálculo del campo eléctrico a partir del gradiente del potencial o permiten calcular la fem inducida por la variación del flujo de campo magnético mediante la ley de Faraday-Lenz. Por este motivo, se necesita transmitir a los alumnos la conexión existente entre el cálculo diferencial e integral con el electromagnetismo.

Actividad 0: Contextualización de derivadas e integrales

Objetivos específicos	Material necesario
<p>Comprender el significado físico de las integrales y de las derivadas y establecer su conexión con su significado matemático.</p> <p>Facilitar la comprensión de magnitudes utilizadas en electromagnetismo y las relaciones entre estas a partir de sus expresiones matemáticas.</p>	<p>Material de escritura.</p>

Tabla 4: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 0.

Esta actividad al no enmarcarse en el bloque temático de Campo Electromagnético presentado en el apartado 3.2.1. es posible realizarla cuando se crea más conveniente. Tampoco se necesita

realizar la actividad completa en sesiones seguidas, sino que el objetivo es implementarla cuando se considere necesario al ser un apoyo para otras actividades de la propuesta.

Se presentarán dos ejercicios, el primero para trabajar el concepto de derivada y el segundo el concepto de integral. En ambos se comenzará utilizando el significado matemático de los conceptos correspondientes y este se relacionará posteriormente con su significado físico. En el primer caso se aplicará a la relación del campo eléctrico y el potencial eléctrico, y en el segundo caso se aplicará a la definición de flujo de campo eléctrico.

Durante la resolución de los ejercicios, el docente deberá ayudar a los alumnos a establecer estas relaciones a base de preguntas y pistas. Aunque los ejercicios sean individuales es posible que los alumnos resuelvan los ejercicios de forma colaborativa si el profesor lo considera necesario.

El ejercicio 1, puede servir como introducción a la actividad 4 por lo que se recomienda realizar este ejercicio una vez que se haya estudiado la relación entre el campo eléctrico y el potencial eléctrico y antes de implementar la actividad 4. Para la realización de este ejercicio se dedicarán 25 minutos.

1. Sea $f(r) = \frac{1}{r^2}$ una función dependiente de la variable r . En la siguiente figura se ha representado la dependencia de f frente a r :

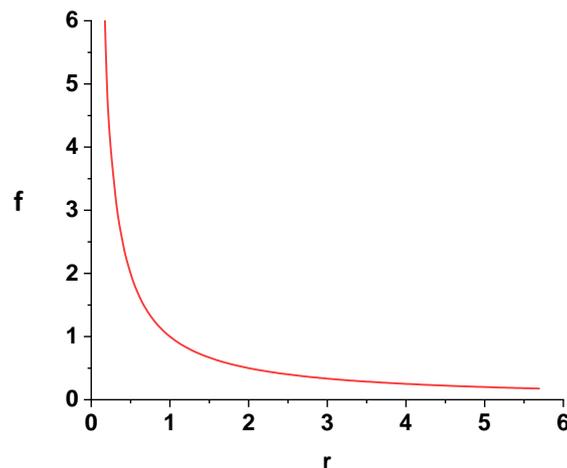


Figura 6: Gráfica f frente a r . Fuente: elaboración propia.

- a) Halla la variación media de f con respecto a r entre $r = 0,5$ y $r = 1$. Repite el cálculo entre $r = 4$ y $r = 4,5$. ¿En qué caso la variación es mayor? ¿La pendiente de f es mayor para $r = 0,5$ o para $r = 4$?
- b) ¿Qué valor de Δr elegirías para determinar la variación instantánea de la función f con respecto a r para un valor de r determinado? ¿Qué función matemática representa esta variación para todos los valores de r ?
- c) El potencial eléctrico de una carga puntual positiva es una función proporcional a $1/r$. ¿Con qué función calcularías su variación instantánea para todos los valores de r ? Representala.
- d) El campo eléctrico de una carga puntual positiva es proporcional a $1/r^2$. Comparando la expresión obtenida en el apartado anterior con la expresión del campo eléctrico, ¿en

qué se diferencian? Teniendo en cuenta esta diferencia, ¿cómo relacionarías el campo eléctrico y el potencial eléctrico mediante una expresión matemática?

- e) En la figura 7, se ha representado en la izquierda el campo eléctrico frente a la distancia y en la derecha el potencial eléctrico en rojo y su derivada en azul frente a la distancia. ¿Por qué la representación del campo eléctrico y la derivada del potencial eléctrico no coinciden? Arguméntalo en base a la expresión matemática obtenida en el apartado anterior y explica su significado físico.

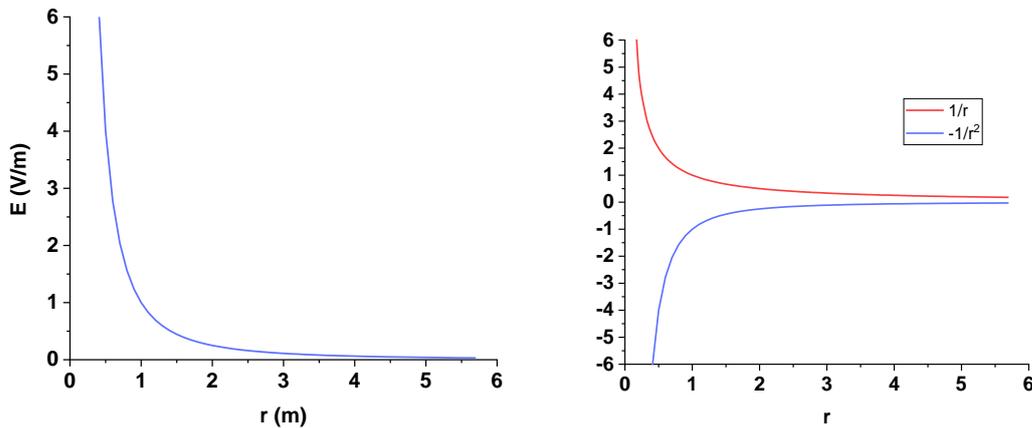


Figura 7: Izquierda: campo eléctrico vs distancia. Derecha: potencial eléctrico (rojo) y su derivada (azul) vs distancia. Fuente: elaboración propia.

Este segundo ejercicio puede servir como apoyo para la actividad 6, ya que se enfoca en la comprensión de la definición de flujo de un campo vectorial, como el campo magnético, y su relación con el significado matemático de las integrales. Por este motivo, se recomienda iniciar la actividad tras explicar el concepto de flujo de campo eléctrico en la ley de Gauss y previamente a la realización de la actividad 6. La duración de este ejercicio debería ser de unos 20 minutos.

2. La figura 8 muestra un círculo de radio desconocido, en el cual se ha seleccionado un sector circular:

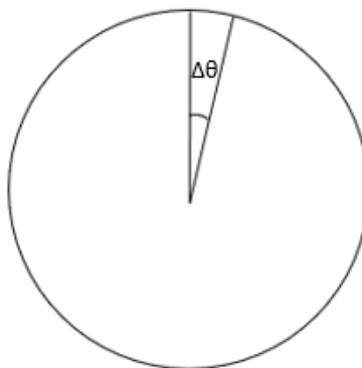


Figura 8: Representación de un círculo de radio desconocido en el que se ha seleccionado un sector circular de ángulo $\Delta\theta$. Fuente: elaboración propia.

- a) ¿Cómo podrías calcular aproximadamente el área del círculo teniendo en cuenta que el área del sector circular es conocido y cuyo ángulo $\Delta\theta$ no es divisible entre 2π radianes? Debes suponer que el sector circular no puede dividirse en otros más pequeños. Explica el método y dibújalo.
- b) ¿Qué $\Delta\theta$ escogerías para que el valor del área calculado fuera lo más próximo al valor real del área?
- c) Teniendo en cuenta el $\Delta\theta$ elegido el apartado anterior, ¿con qué expresión matemática podrías hallar la suma del área de todos los sectores circulares?
- d) El flujo de un campo vectorial permite hallar la “cantidad” de campo vectorial que atraviesa una superficie. Suponiendo que un campo eléctrico \vec{E} es uniforme y atraviesa un área circular perpendicularmente como se muestra en la figura 9, ¿con qué expresión matemática podrías calcular su flujo?

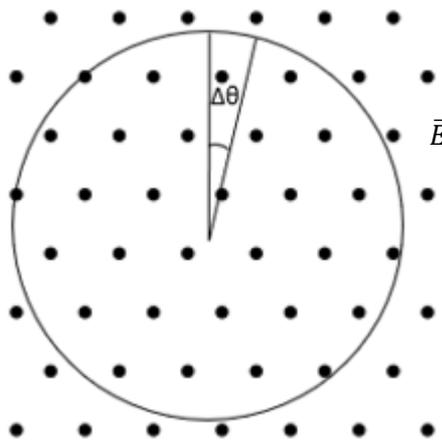


Figura 9: Campo eléctrico uniforme atravesando una superficie circular en la cual se ha seleccionado un sector circular de un ángulo $\Delta\theta$. Fuente: elaboración propia.

- e) Si el campo eléctrico tuviera un valor diferente para cada valor del ángulo, ¿cómo puedes hallar el flujo total del campo eléctrico que atraviesa al área? Relaciona la expresión del flujo de campo con la expresión del apartado c.

Una vez finalizados los ejercicios deberán ser entregados al profesor para su corrección.

5.4.2. Concepto de campo

En este apartado se abordarán las dificultades de aprendizaje 2 y 3 de la tabla 3.

El campo eléctrico y el campo magnético carecen de significado. La interacción entre cargas eléctricas o entre fuentes de campo magnético se razona a partir del concepto de fuerza.

En Física, un campo puede definirse como una magnitud física escalar o vectorial, que toma un valor para cada punto de una región del espacio en cada instante de tiempo. (Feynman, 1977)

A partir de la definición anterior se deduce con facilidad que el concepto de campo es muy abstracto, debido a que parte del concepto matemático de función. Este hecho está reflejado en

el uso inicial del concepto de campo por Laplace y Poisson como una herramienta matemática dentro de la teoría gravitacional, sin realmente asignarle un significado físico. Hubo que esperar a que Faraday abordase las interacciones electromagnéticas partiendo del concepto campo, en contraposición a la noción de acción a distancia establecida por Newton. (Llancaqueo, Caballero, & Moreira, 2003)

El estudio de las interacciones electromagnéticas de forma generalizada solo es posible a través del campo eléctrico y del campo magnético. Sin embargo, en el curso de 2º de Bachillerato solo se estudia el caso estático, en el cual estas interacciones se pueden describir a un nivel más sencillo a través del concepto de fuerza a distancia. Esto lleva a concluir de forma errónea que los campos son prescindibles para la interpretación de estos fenómenos. Los alumnos parten de una visión newtoniana de la fuerza eléctrica y magnética por su simpleza. Por este motivo, la introducción del campo eléctrico y magnético para explicar el mismo fenómeno a través de un concepto nuevo, más abstracto y, consecuentemente, más complicado de entender, se considera innecesario. No es de extrañar que el campo acabe reducido a una mera herramienta matemática que permita calcular la fuerza con otras fórmulas o partiendo de otras magnitudes como el potencial eléctrico, en el caso de la electrostática. (Romanos, 2014)

El origen de esta dificultad de aprendizaje radica principalmente en el carácter abstracto del concepto de campo y en el método utilizado para introducir este concepto por primera vez. Asimismo, la escasez de fenómenos electromagnéticos observables en la vida cotidiana que se relacionen de forma sencilla y directa con los campos eléctrico y magnético, hacen que los alumnos no sean capaces de dar significado físico a los campos. Y consecuentemente, se favorece su uso como una herramienta matemática cuya única función es calcular su correspondiente fuerza. Como solución a este problema en la siguiente actividad se ahondará en el significado del concepto de campo y en su visualización en la vida real.

Actividad 1: Familiarizándonos con el campo eléctrico y el campo magnético

Objetivos específicos	Material necesario
Comprender el concepto de campo eléctrico y de campo magnético.	Experiencia de cátedra líneas de campo magnético: Imanes, folio, soporte plano y limaduras de hierro.
Visualizar el efecto del campo eléctrico y del campo magnético en la vida real y dotarles de significado físico.	Experiencia de cátedra líneas de campo eléctrico: Electroodos, semillas, aceite, recipiente, fuente de tensión o generador electrostático.
	Aplicaciones: ordenadores con conexión a Internet.

Tabla 5: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 1.

Esta actividad puede servir como introducción al bloque de campo electromagnético tras introducir las fuentes de campo eléctrico y campo magnético y se divide en dos partes. La primera consta de una discusión y puesta en común por grupos sobre el significado del concepto de campo, y la segunda parte consiste en una parte práctica para visualizar el campo eléctrico y el campo magnético.

Discusión

Para iniciar la discusión, se dividirá la clase en grupos de 5 personas y se entregará una ficha con varias cuestiones a las que se les dará 15-20 minutos para que lleguen a un acuerdo en la respuesta de estas cuestiones. Una vez pasado ese tiempo, se hará una puesta en común con el profesor que durará otros 20-25 minutos para poder resolver aquellas dudas que surjan de la discusión a través del razonamiento.

Actividad 1: Cuestiones	
Cuestión 1	Define qué es un campo. Explícalo con tus propias palabras y describe algún ejemplo que conozcas.
Respuesta	
Cuestión 2	¿Por qué dos cargas opuestas se atraen? ¿Y un polo norte y un polo sur de un imán? Explica a qué se debe esta interacción.
Respuesta	
Cuestión 3	¿Existe diferencia entre el concepto de fuerza y el concepto de campo para explicar la interacción entre dos cargas o entre dos fuentes de campo magnético? ¿Existe algún caso en el que no se pueda describir la interacción mediante el concepto de fuerza?
Respuesta	
Cuestión 4	¿Existen los campos eléctricos y magnéticos en la vida real, o solo son una herramienta matemática para calcular la fuerza eléctrica y magnética?
Respuesta	

Tabla 6: Cuadro para cuestiones y respuestas de la actividad 1.

Práctica: experiencias de cátedra

Como se mencionó previamente, al ser un concepto tan abstracto es necesario exponer de manera tangible y visual la presencia de los campos eléctricos y magnéticos en la vida real, para que los alumnos dispongan de experiencias cercanas que faciliten la comprensión del concepto de campo. Esto presenta cierta dificultad ya que estos campos requieren de fuentes más complicadas de conseguir de forma que se vean a simple vista, en especial el campo eléctrico que necesita un ambiente seco. Sin embargo, es posible realizar pequeñas experiencias de cátedra que permitan a los alumnos visualizar el efecto que estos campos ejercen en la región del espacio cercana a sus fuentes.

Experiencia de cátedra: visualización de las líneas de campo magnético mediante limaduras de hierro e imanes.

Este experimento se ha replicado innumerables veces gracias a su facilidad, simpleza y su carácter ilustrativo. La opción más sencilla es colocar un imán en una superficie plana y en caso de ser metálica y paramagnética, puede ayudar a mantener los imanes en posiciones fijas. Posteriormente, sobre los imanes se sitúa una superficie plana, de color claro y fina como el papel, o transparente si se utiliza una hoja de acetato, y se vierten las limaduras de hierro (Start

seeing magnetic fields, s.f.). Es necesario echarlas desde poca altura, despacio y uniformemente sobre la superficie para permitir a las limaduras que se orienten con el campo magnético y así evitar que todas las limaduras queden concentradas cerca del imán.

En la figura 10 se observa que las virutas se concentran alrededor de dos círculos que constituyen los polos del imán y entre estos forman líneas cerradas que se corresponden con las líneas de campo magnético. En la parte derecha de la figura se muestra la posición del imán bajo el folio.

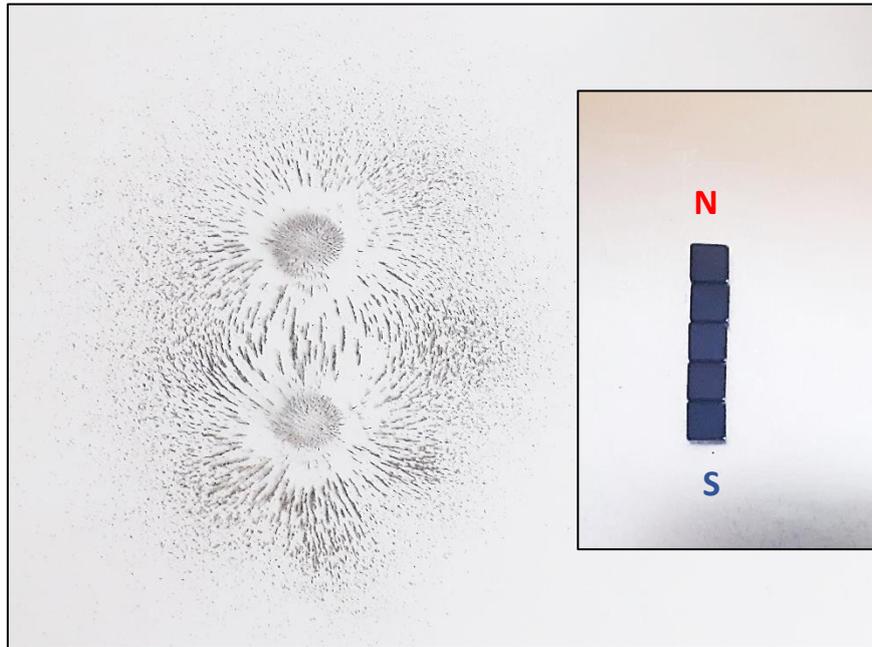


Figura 10: Líneas de campo magnético generadas por un dipolo magnético formado por una configuración de varios imanes. Fuente: elaboración propia.

Con una configuración de dos imanes es posible ver el patrón de líneas de campo magnético generado por dos polos opuestos enfrentados o por dos polos iguales. Por una parte, en izquierda de la figura 11 se muestra el cómo las líneas de campo magnético tienden a concentrarse entre dos polos opuestos enfrentados mientras que, cuando se enfrentan dos polos iguales, hay ausencia de líneas tal y como puede verse en la imagen de la derecha. Sin embargo, ambas configuraciones de imanes son totalmente identificas a simple vista, de manera que solo es posible diferenciarlas por el patrón de líneas que queda dibujado por las limaduras.

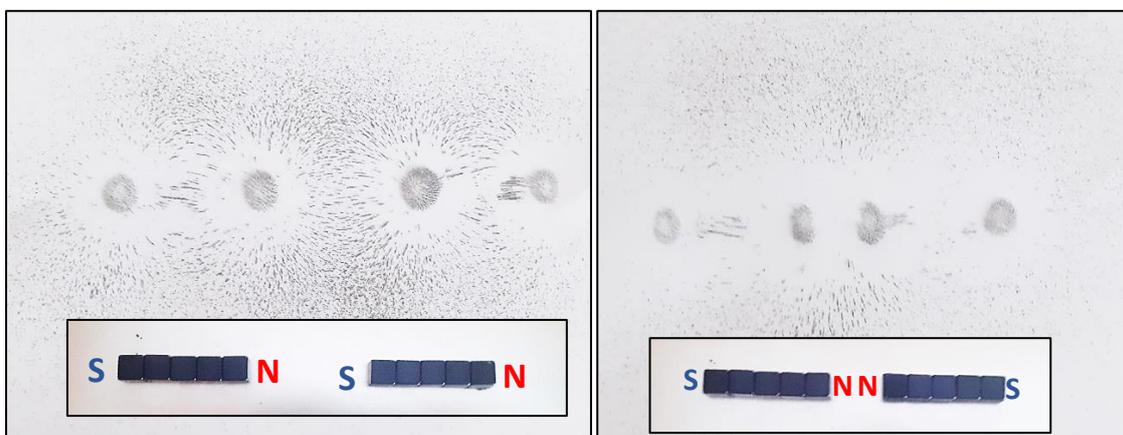


Figura 11: Izquierda: Líneas de campo magnético generadas por dos polos opuestos enfrentados. Derecha: Líneas de campo magnético generada por dos polos iguales enfrentados. Fuente: elaboración propia.

Dicho esto, como ejercicio para los alumnos es posible elegir una configuración arbitraria como la que aparece en la figura 12 y tratar de identificar si los polos que se enfrentan son iguales u opuestos en base a las líneas de campo observadas.

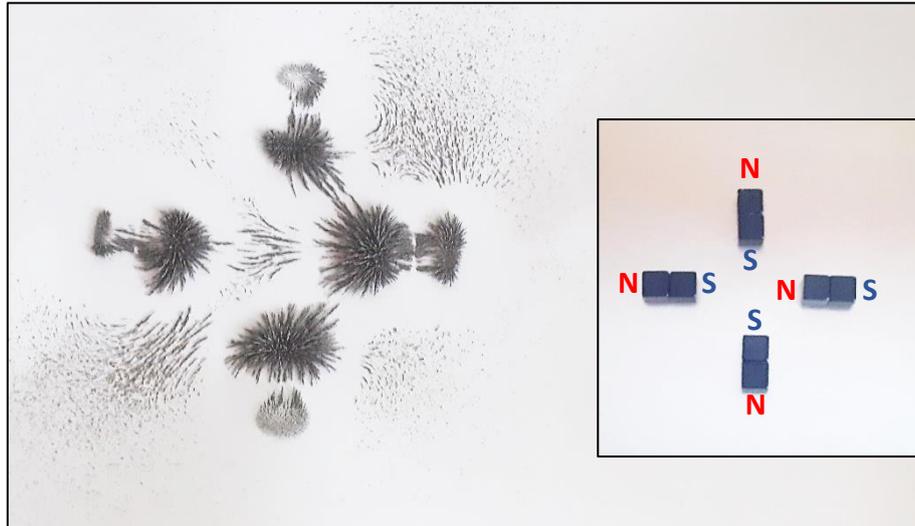


Figura 12: Líneas de campo magnético creado una configuración de imanes en la que se enfrentan 3 polos iguales (superior, inferior, izquierdo) y un polo opuesto (derecho). Fuente: elaboración propia.

Experiencia de cátedra: visualización de líneas de campo eléctrico con aceite, electrodos y semillas o limaduras de hierro.

Las limaduras de hierro también pueden ayudar a visualizar las líneas de campo eléctrico, pero a diferencia del caso anterior, es necesario añadir un líquido viscoso y denso como el aceite en un recipiente que permita el desplazamiento de las virutas de hierro, también pueden utilizarse semillas (Electricity and Magnetism, s.f.).

Sobre unas placas se hacen diferentes configuraciones de electrodos como se observa en la figura 13 y sobre estas placas se coloca el recipiente con el aceite y las semillas. Finalmente se necesita aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos mediante una fuente de tensión o un generador electrostático para poder observar las líneas de campo eléctrico mediante la disposición de las semillas como se puede ver en la figura 14.

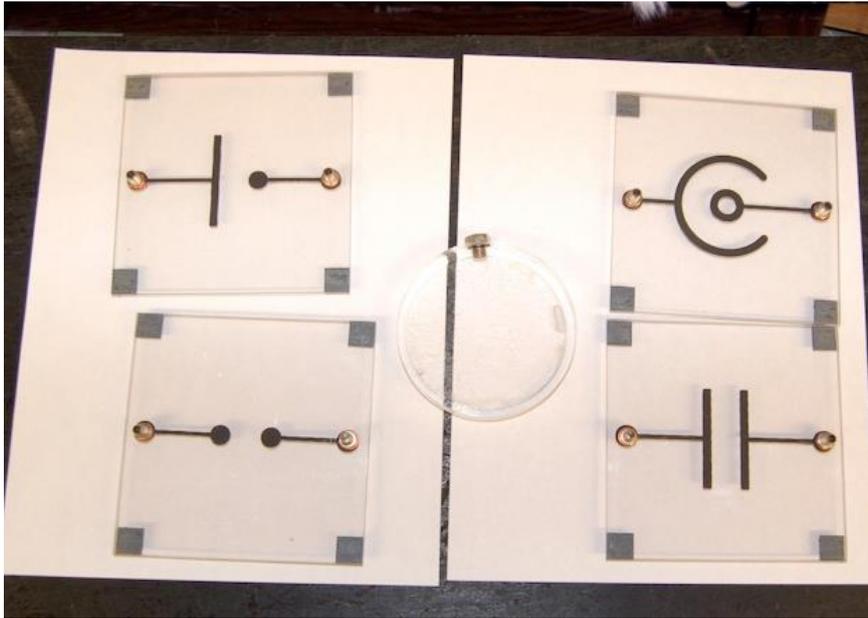


Figura 13: Disposiciones de electrodos. Extraída de (*Electricity and Magnetism, s.f.*)

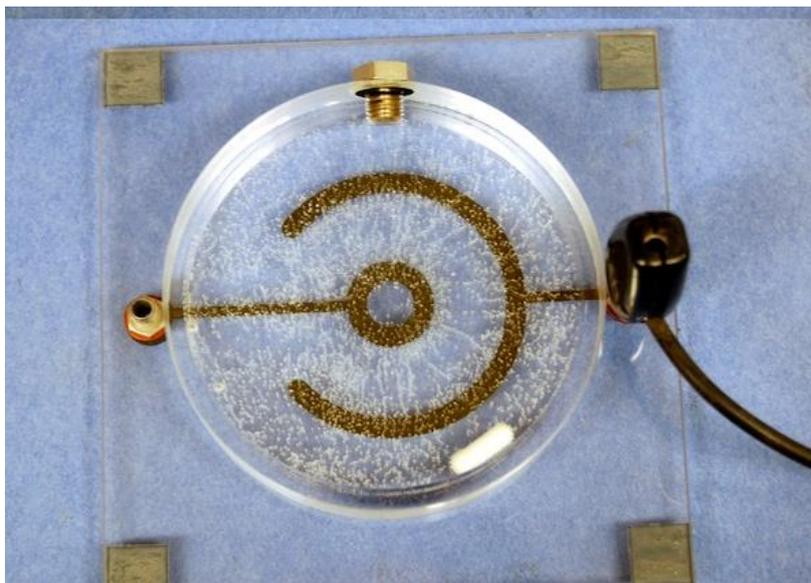


Figura 14: Líneas de campo eléctrico tras aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos. Extraída de (*Electricity and Magnetism, s.f.*)

Para la realización de ambas experiencias de cátedra es conveniente disponer de un laboratorio o un aula con el tamaño adecuado para permitir que todo el alumnado pueda observar ambas experiencias sin problemas, y se debe realizar las dos experiencias en 40-50 minutos.

Práctica: aplicaciones

En caso de no poder realizar estas experiencias de cátedra bien sea por falta de tiempo o por no disponer de los materiales necesarios, cabe la posibilidad de usar otras herramientas como aplicaciones de Internet que permitan visualizar las líneas de campo de una forma más ilustrativa

que unos dibujos en la pizarra tradicional. Esta opción, aunque cuenta con la ventaja de resultar más sencilla de implementar en la práctica, tiene un menor impacto en el alumnado en comparación a las experiencias de cátedra.

Una aplicación interesante para la visualización del campo eléctrico es la de Falstad (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.). Se caracteriza por ser de acceso gratuito y uso sencillo, lo que asegura su accesibilidad para el alumnado.

La aplicación consta de dos partes, en la parte izquierda de la interfaz se generan las imágenes de la configuración y de las magnitudes que se hayan seleccionado mediante los desplegables de la parte derecha. El primer desplegable permite elegir la configuración de cargas que se desee, algunas opciones relevantes para 2º de Bachillerato son una sola carga puntual, dos cargas iguales y un dipolo, además de otras configuraciones más complejas de manera que puede resultar una herramienta de utilidad para cursos superiores. En el segundo desplegable se escoge la magnitud a representar como podría ser las líneas de campo eléctrico o el potencial eléctrico. La figura 15 muestra la representación del campo eléctrico de dos configuraciones sencillas de cargas eléctricas.

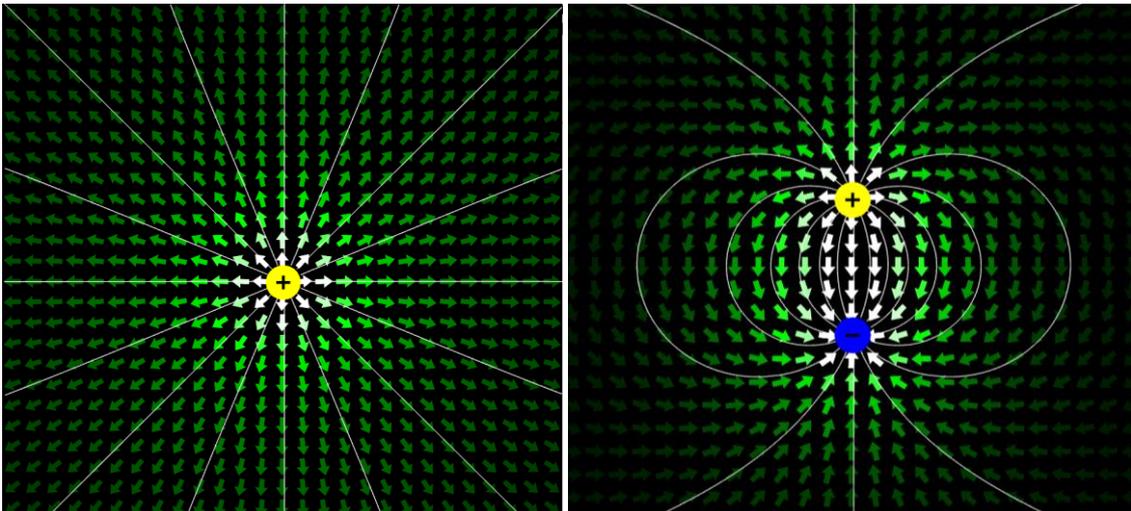


Figura 15: Izquierda: Representación de vectores de campo eléctrico y líneas de campo de una carga puntual positiva. Derecha: Representación de vectores de campo eléctrico y líneas de campo de un dipolo eléctrico. Imagen generada con Falstad (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.)

También existen otras opciones para modificar la visualización de las representaciones como permitir la visibilidad de las líneas equipotenciales o variar la densidad de vectores de campo eléctrico. Se accede a la aplicación a través de la siguiente URL:

<https://www.falstad.com/emstatic/>

Respecto al campo magnético, Falstad también cuenta con una aplicación de funcionamiento similar a la anterior y de las mismas características en cuanto a su accesibilidad. La interfaz presenta la misma disposición, pero en este caso cambian las opciones disponibles en los desplegables. Respecto a algunas de las configuraciones disponibles es posible elegir entre corrientes que circulan por hilos, por espiras o cargas en movimiento. Dos configuraciones diferentes se muestran en la figura 16.

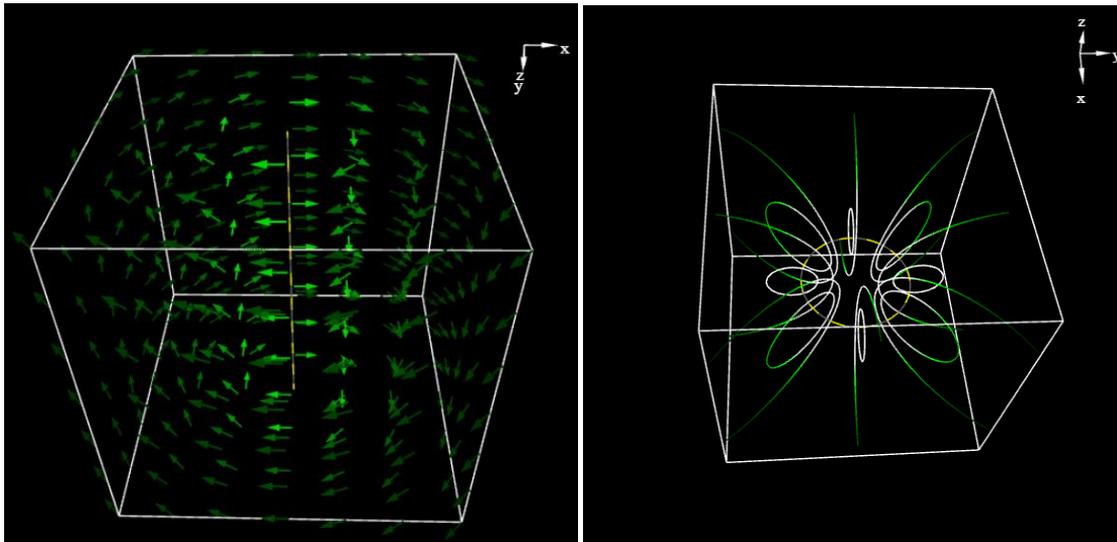


Figura 16: Izquierda: Representación de vectores de campo magnético creado por una corriente que circula hacia abajo por un hilo conductor infinito. Derecha: Representación de líneas de campo magnético generado por una corriente que circula por una espira. Imagen generada con *(3-D Magnetostatic Field Simulation, s.f.)*

Entre las opciones de visualización de las representaciones se encuentran los vectores de campo magnético o las líneas de campo magnético. Asimismo, es posible variar la densidad de vectores de campo al igual que en la aplicación anterior o invertir el sentido de la corriente. Se accede a esta aplicación mediante la siguiente URL: <https://www.falstad.com/vector3dm/>

Se desconoce la necesidad del concepto de campo eléctrico y magnético para explicar fenómenos como las ondas electromagnéticas, sus ventajas y aplicaciones.

Como se mencionó en la anterior dificultad de aprendizaje, debido a que en el estudio de la interacción entre fuentes de campo eléctrico y fuentes de campo magnético en 2º de Bachillerato únicamente se tiene en consideración el caso estático, los alumnos no comprenden que exista la necesidad de utilizar un concepto más complicado de entender para explicar un fenómeno que ya se ha descrito de manera más sencilla. (Romanos, 2014)

En Bachillerato, lo más común es introducir el concepto de campo eléctrico y el de campo magnético como una magnitud independiente que sirve para calcular la fuerza eléctrica y magnética respectivamente, u otras magnitudes como el potencial eléctrico. Sin embargo, no se establece la necesidad del concepto de campo dentro del electromagnetismo ya que a menudo se prescinde de la perspectiva histórica de este concepto. Es decir, no se explicitan los fenómenos que no pueden ser explicados mediante el concepto de fuerza a distancia y el cómo el concepto de campo sí que lo permite.

Las ondas electromagnéticas es el caso más ilustrativo de este hecho, debido a que su campo eléctrico y su campo magnético varían con el tiempo, y por este motivo no constituyen un caso estático. Asimismo, al introducir las ondas electromagnéticas, aunque se describen a partir del

campo eléctrico y magnético y se suele hacer una breve referencia a Maxwell y Hertz como responsables de su descubrimiento, realmente no describe el verdadero impacto que este hecho tuvo dentro del electromagnetismo, ni se establece su relación con la inducción electromagnética ya que esta relación se presupone.

Es, por esta razón, conveniente introducir el concepto de campo y el de onda electromagnética desde una perspectiva histórica que contextualice y dé sentido a la necesidad del concepto de campo eléctrico y magnético, así como el cómo las ondas electromagnéticas han transformado el mundo en el que vivimos a través de los avances tecnológicos. Asimismo, esta perspectiva puede contribuir a modificar positivamente la actitud de los alumnos hacia las ciencias. Recibir información contextualizada les permitirá formar una imagen más realista del trabajo científico en Física, de cómo los avances en la investigación se nutren del trabajo realizado por pasados científicos y de los beneficios que proporciona a la sociedad.

Actividad 2: Ondas electromagnéticas. Un antes y un después.

Objetivos específicos	Material necesario
Reconocer la necesidad del concepto de campo eléctrico y de campo magnético para la explicación de fenómenos electromagnéticos. Situar cronológicamente eventos relevantes de la historia del electromagnetismo para adquirir una visión holística. Conocer las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en la vida cotidiana.	Ordenadores con conexión a Internet.

Tabla 7: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 2.

Al igual que para comprender la compleja estructura de los átomos se realiza un estudio desde la perspectiva histórica de los distintos modelos atómicos propuestos para explicar la estructura atómica a medida que la complejidad aumenta con cada modelo, es conveniente utilizar un tratamiento similar con el electromagnetismo. Este método sirve para introducir y situar al alumnado respecto a los conocimientos que van a adquirir y que limitaciones presentan. Asimismo, también es necesario mostrar aplicaciones donde los campos electromagnéticos adopten un papel imprescindible en la vida cotidiana para que sean conscientes de los avances que se han logrado hasta la actualidad y establezcan relaciones entre otras ramas de la física.

Construcción de una línea temporal del electromagnetismo

Con este objetivo y a modo de cierre del bloque de electromagnetismo, se hará un repaso de los conceptos estudiados a través de un recorrido temporal de la evolución del electromagnetismo en el cual el docente será el encargado de aportar la información de manera expositiva sobre los eventos más relevantes relacionados con el campo eléctrico y el campo magnético para finalmente llegar las ondas electromagnéticas. Debido a la gran extensión de la historia del electromagnetismo, este recorrido temporal se centrará y limitará al campo eléctrico, el campo magnético y la unión de sus respectivas ramas en la teoría del electromagnetismo. Una guía para

el docente sobre la información a tratar en esta parte de la actividad cuya duración es de una sesión de 50 minutos, puede encontrarse en el anexo IV.

Para facilitar el seguimiento cronológico de los avances dentro del electromagnetismo los alumnos deberán construir una línea temporal a partir de la información aportada por el docente en clase y se les pedirá que busquen otros acontecimientos relevantes (a elección del alumno) que deben ser incluidos en la línea temporal. La línea temporal la deberán crear como tarea en su casa o bien utilizando programas como Canva o PowerPoint o bien en papel. Una vez creada, esta línea deberá ser entregada al profesor para corregir posibles fallos y se la devolverá a los alumnos para que así pueda servir como una herramienta más de estudio. La figura 17 muestra el trabajo a realizar por los alumnos.

Una vez finalizado el recorrido histórico y entregada la línea temporal al profesor, se les pedirá a los estudiantes que realicen una breve descripción de forma oral de algunas aplicaciones en la vida cotidiana. Estas pueden ser sugeridas tanto por los alumnos como por el docente, y se incluirán algunas imágenes al final de la línea temporal a modo de recordatorio visual. Para las aplicaciones se dividirá la clase en cuatro grupos en base a los rangos de frecuencia del espectro electromagnético que se muestran en la figura 19: uno deberá buscar aplicaciones en el rango del ultravioleta, otro grupo en el visible, otro en el infrarrojo y el último en el rango de las microondas. Cada grupo dispondrá de 5 minutos para exponer la información encontrada al resto de grupos. En la figura 18 se muestra la parte de las aplicaciones de la línea temporal y en el anexo IV se encuentran indicaciones para algunas posibles aplicaciones de interés.

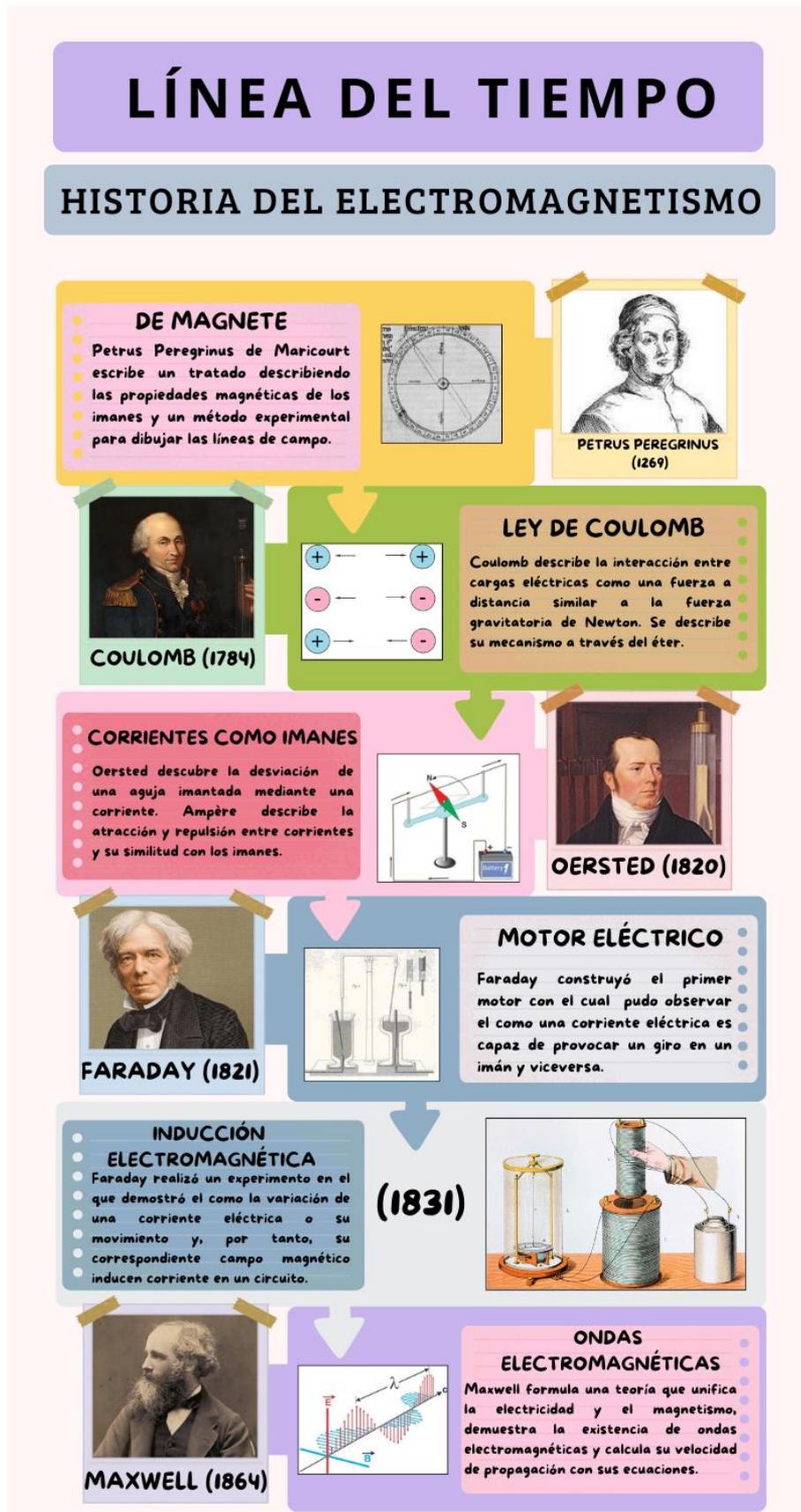


Figura 17: Modelo de línea temporal. Fuente: elaboración propia.

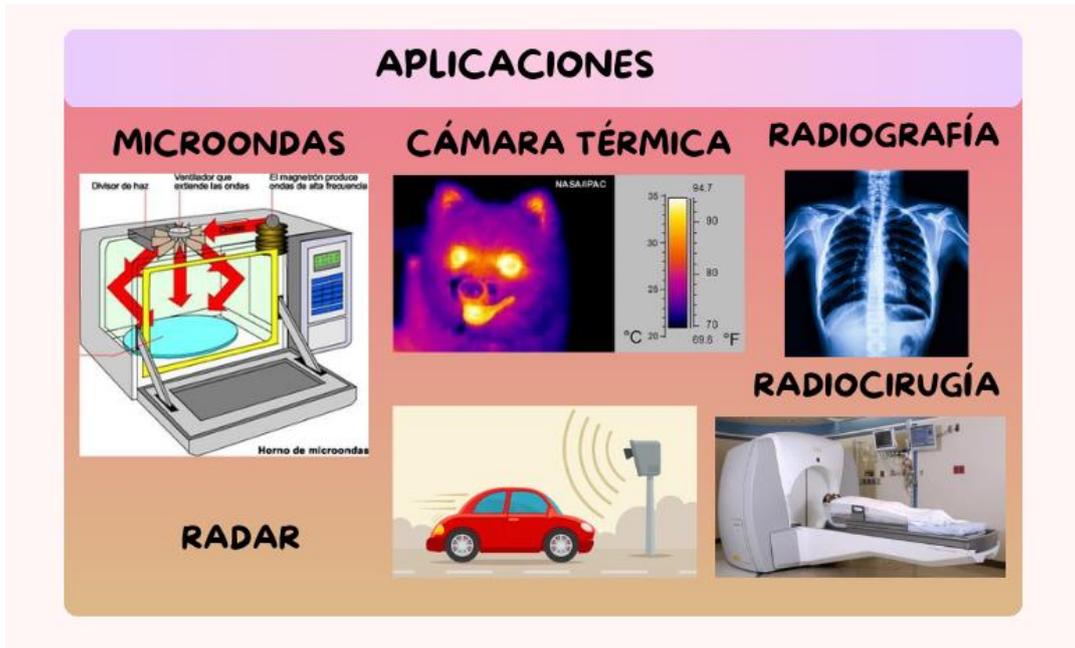


Figura 18: Cartel con posibles aplicaciones. Fuente: elaboración propia.

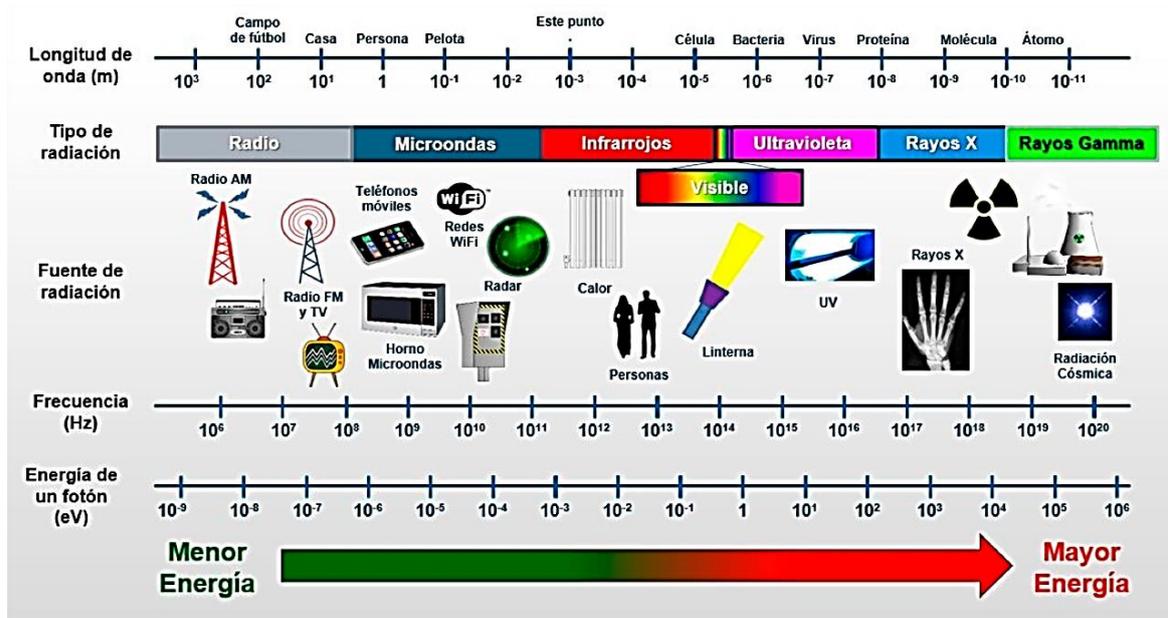


Figura 19: Espectro electromagnético con aplicaciones de ondas electromagnéticas. Extraído de (Pérez, Estrada, & Briones, s.f.)

5.4.3. Electroestática

En este apartado se tratarán las dificultades de aprendizaje 4 y 5 incluidas en la tabla 3.

El potencial eléctrico carece de significado físico y solo se utiliza como una herramienta matemática para facilitar el cálculo de la energía eléctrica o el campo eléctrico.

Al igual que ocurre con el campo eléctrico, el potencial eléctrico es otra magnitud abstracta que se introduce “por primera vez” en 2º de Bachillerato, lo que dificulta su comprensión como concepto físico. El potencial eléctrico puede definirse de múltiples formas, aunque todas tienen en común el hecho de partir de otra magnitud física previamente definida. Una posible definición es la siguiente:

Debido a que el campo eléctrico es conservativo, se cumple la condición: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$. La integral de línea del campo eléctrico es independiente del camino por lo que se puede definir una función tal que: $V = -\int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$. A esta función se la denomina potencial eléctrico. (Griffiths, 2012)

La definición anterior, aunque es correcta puede resultar algo abstracta a nivel de 2º de Bachillerato, por lo que otra definición algo más sencilla es: “El potencial eléctrico en un punto se define como la energía potencial por unidad de carga colocada en dicho punto.” (Alonso & Finn, 1999) Esta segunda definición parte de un concepto más conocido como lo es la energía potencial. Sin embargo, muchos alumnos no logran comprender el verdadero significado del potencial eléctrico al interpretar este tipo de definiciones como una descripción textual de las fórmulas con las que se suele presentar este concepto. Específicamente, el potencial eléctrico en un punto P en la mayor parte de los casos se introduce de forma operativa a través de las correspondientes expresiones matemáticas (Furió & Guisasola, 1999):

$$V_P = -\int_{\infty}^{r_P} \vec{E} \cdot d\vec{r} \qquad V_P = \frac{U_P}{q}$$

Tratar la definición de potencial eléctrico desde un punto de vista puramente operativo supone un gran obstáculo para lograr la comprensión de este concepto. Es habitual que los estudiantes ni siquiera sean capaces de comprender que la diferencia de potencial es una magnitud medible y que, por lo tanto, posee significado físico. Esto es un reflejo de cómo el propio profesorado a menudo ignora las ventajas de utilizar el concepto de potencial eléctrico frente al de fuerza de Coulomb, y qué cambios ontológicos conlleva describir la interacción entre cargas eléctricas en términos del campo eléctrico frente a la fuerza coulombiana. No obstante, parte de la razón por la cual los docentes eligen este método de introducción se encuentra en los libros de texto. Debido a una inclinación histórica en pro del instrumentalismo matemático, los libros presentan el potencial de modo puramente formal, sin aludir a la necesidad de introducirlo para abordar de forma más sencilla el estudio energético de la interacción entre cargas eléctricas. (Furió & Guisasola, 1997)

En base a lo expuesto previamente, es evidente la necesidad de complementar la introducción del concepto de potencial eléctrico a través de las fórmulas con una herramienta que facilite su comprensión a nivel físico. Para ello, es posible recurrir a otros dominios ya conocidos que permitan establecer conexiones con ideas más concretas y fáciles de asociar con las observaciones de fenómenos en la vida real. En el caso del potencial eléctrico, se recurrirá a la analogía con el potencial gravitatorio para lograrlo.

Actividad 3: Potencial eléctrico vs potencial gravitatorio

Objetivos específicos	Material necesario
Comprender el concepto de potencial eléctrico a nivel físico. Establecer una analogía entre el potencial eléctrico y el potencial gravitatorio.	Mapas de potencial electrostático (ver Anexo V). Ordenadores con conexión a Internet.

Tabla 8: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 3.

Antes de la realización de esta actividad, que puede tener lugar tras la presentación del concepto de potencial eléctrico, es altamente recomendable dedicar unos 5 o 10 minutos a explicar a los alumnos en qué va a consistir la actividad describiendo brevemente lo que es una analogía, que función va a cumplir y cuáles son sus limitaciones. Una posible introducción enfocada al electromagnetismo sería la siguiente:

Tal y como se refleja en la historia del electromagnetismo, la primera interacción cuantitativa entre cargas eléctricas se describió a través de la ley de Coulomb que concibe la atracción o repulsión entre cargas como una fuerza a distancia cuya expresión matemática es análoga a la fuerza gravitatoria propuesta por Newton. Esta similitud en la explicación de dos interacciones a primera vista diferentes no es casualidad. Para comprender o describir nuevos fenómenos es frecuente establecer analogías con modelos o conceptos ya previamente conocidos como fue el caso de la ley de Coulomb, que surgió bajo la influencia de la mecánica newtoniana prominente en el S. XVIII. Sin embargo, una analogía no implica necesariamente que el mismo modelo sea completamente válido para ambos casos. Es más, fue este hecho que el propició la aparición del concepto de campo para explicar la interacción entre cargas eléctricas. Así posteriormente, se aplicaría también a la interacción gravitatoria, dando un significado físico a la formulación puramente matemática de la teoría gravitacional desarrollada por Laplace y Poisson en términos de campo y potencial gravitatorio. El motivo se halla precisamente en las similitudes entre ambos tipos de interacción. (Llancaqueo, Caballero, & Moreira, 2003)

Una vez establecidas las características de las analogías es oportuno destacar la conveniencia del uso de la magnitud potencial eléctrico para explicar la interacción entre las cargas e incidir en las principales ventajas del concepto de potencial eléctrico: magnitud útil por ser escalar, es decir, más sencilla de manejar en términos de cálculos matemáticos y por facilitar la descripción de la interacción entre cargas desde el punto de vista energético. Si se parte de la segunda definición de potencial dada anteriormente, es posible analizar la interacción entre cargas. Partiendo de la disminución de energía potencial eléctrica que experimenta una carga q al desplazarse bajo la acción de un campo eléctrico generado por la carga fuente. El efecto de la presencia de una carga fuente en el espacio desde el punto de vista energético es precisamente el potencial electrostático.

Para facilitar la comprensión del concepto de potencial eléctrico se va a establecer una analogía con otro potencial que ya ha sido estudiado previamente y con el que comparte varias características, el potencial gravitatorio.

Para establecer la analogía el docente partirá de la fuente de campo eléctrico que tenga mayor similitud con el campo gravitatorio. Si se hace una comparación entre la expresión para el campo

gravitatorio y para el campo eléctrico generados por sus correspondientes fuentes puntuales, se aprecia una gran simetría entre ambas expresiones y una diferencia fundamental, el signo menos.

$$\vec{g} = -G \frac{m}{r^2} \vec{r} \qquad \vec{E} = K \frac{q}{r^2} \vec{r}$$

Debido a que las fuentes de campo gravitatorio, es decir, las masas, son siempre positivas, para indicar la atracción entre estas se debe incluir un signo negativo. De esta forma, el potencial generado por una masa fuente es siempre negativo. El caso análogo para el campo eléctrico es el de una carga puntual negativa debido a que la expresión del campo eléctrico carece del signo menos. Las expresiones para el potencial gravitatorio de una masa puntual y el potencial electrostático de una carga puntual negativa son las siguientes:

$$V_g = -G \frac{m}{r} \qquad V_E = -K \frac{q}{r}$$

Ambas expresiones determinan el valor del potencial en un punto tomando como referencia de potencial el infinito. Como se puede apreciar, ambos potenciales poseen un signo menos que tendrá como consecuencia la atracción de la masa testigo o de la carga testigo positiva con las respectivas fuentes. Asimismo, coinciden en su dependencia con la distancia r , por lo que su representación en 3 dimensiones es idéntica. Si se representa el potencial mediante la aplicación de Falstad para campos vectoriales en 3 dimensiones se obtiene una forma similar a un pozo, tal y como se observa en la figura 20, debido a que cuanto menor es la distancia, más negativo es el valor del potencial.

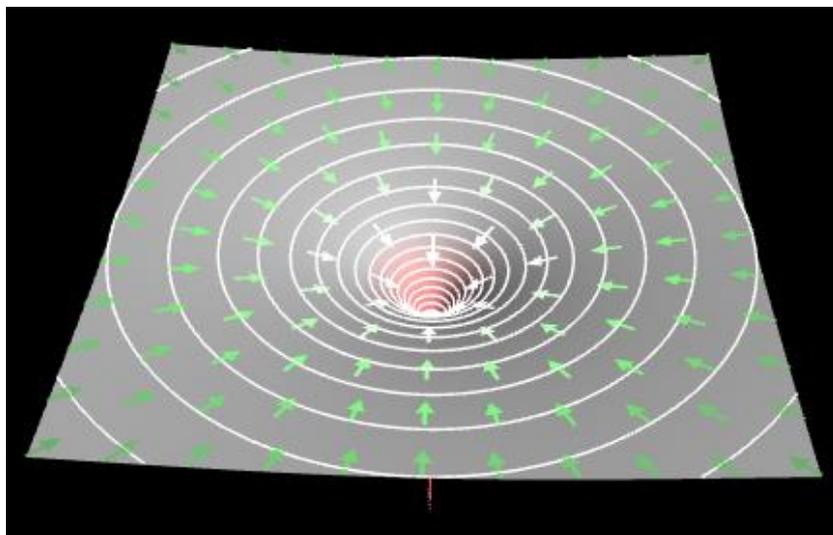


Figura 20: Potencial con dependencia $1/r$ generado por una fuente puntual. Generada con (2-D Vector Field Simulation, s.f.)

El acceso a la aplicación se encuentra en el siguiente enlace:

<https://www.falstad.com/vector/index.html>

Para comprender la interacción entre dos masas en base al potencial gravitatorio es posible partir de una situación que es fácilmente observable en la vida cotidiana. Si se coloca un objeto con masa como podría ser una pelota en lo alto de una colina, esta tenderá a desplazarse hacia zonas más bajas debido a la acción del campo gravitatorio. Desde el punto de vista del potencial gravitatorio, lo que está ocurriendo con la pelota o la masa testigo es que esta se está desplazando desde una zona de mayor potencial gravitatorio a otra zona de menor potencial, por lo que se produce una disminución de su energía potencial gravitatoria o si nos fijamos en la figura 20 la masa testigo se acerca a la masa fuente.

La interacción entre una carga testigo positiva y una carga fuente negativa puede explicarse de forma análoga. En presencia del campo eléctrico generado por la carga fuente negativa, la carga testigo positiva tenderá a desplazarse a zonas de potencial eléctrico más negativas por la acción del campo. Esto implica que esa carga testigo se verá atraída por la carga fuente y experimentará una disminución de su energía potencial electrostática.

El establecimiento de esta analogía por parte del docente deberá realizarse en unos 15 minutos. Posteriormente, en los 25-30 minutos restantes se les planteará a los alumnos que analicen el caso del potencial generado por una carga puntual positiva. Para ello deberán razonar y expresar por escrito que diferencias existen al trabajar con un potencial positivo y hasta qué punto la analogía es aplicable para este caso. Se deberá tener en cuenta que al trabajar con un potencial positivo existen diferencias con el potencial gravitatorio y que, por lo tanto, el potencial gravitatorio y el potencial electrostático no son totalmente equivalentes.

La aplicación para electrostática de Falstad permite mostrar mapas en 3D de las superficies equipotenciales del potencial eléctrico tanto para cargas negativas como positivas, lo que facilitará al alumnado visualizar las similitudes y diferencias con el potencial gravitatorio.

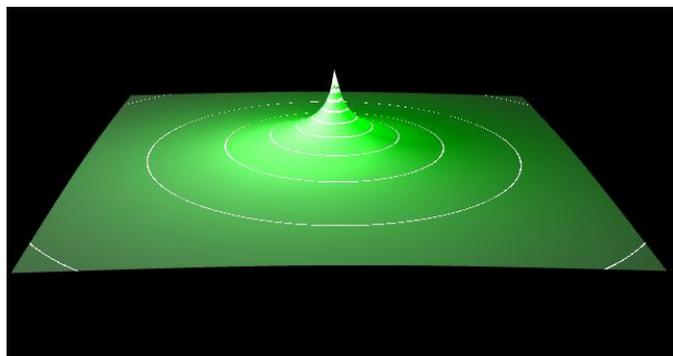


Figura 21: Potencial eléctrico generado por una carga puntual positiva en 3D. Generada con (3-D Electrostatic Field Simulation, s.f.)

Tras el análisis del caso anterior, el alumno deberá indicar de forma resumida y clara las similitudes y las diferencias entre el potencial gravitatorio y el potencial electrostático basándose en el caso tanto de la carga fuente positiva como de la carga fuente negativa. De esta manera, se busca conseguir una comprensión correcta del uso de las analogías y de sus limitaciones, así como de las características entre ambas magnitudes que permiten el establecimiento de la analogía en primer lugar. El ejercicio deberá ser recogido y corregido por el profesor al final de la sesión.

No se comprende la relación del potencial eléctrico con otras magnitudes como el campo eléctrico o la energía potencial eléctrica.

Esta dificultad de aprendizaje se halla íntimamente relacionada con la dificultad anterior. Las definiciones de potencial eléctrico previamente enunciadas evidencian la relación de esta magnitud con otras como el campo eléctrico, la energía potencial eléctrica o el trabajo.

El potencial eléctrico es un concepto muy abstracto íntimamente relacionado con otras magnitudes utilizadas en electrostática lo cual queda reflejado en los libros. Las múltiples definiciones enunciadas por estos para definir el potencial eléctrico parten del trabajo, de la energía potencial o del campo eléctrico. Si se realiza un análisis de estas definiciones, no existen unos límites claros que delimiten el significado del potencial eléctrico. Además, los autores no hacen distinción entre la definición de potencial eléctrico y su expresión operativa. Como consecuencia, el alumnado a menudo no es capaz de comprender la definición del potencial eléctrico, lo que implica no comprender su significado físico ni su relación con otras magnitudes físicas más allá de la aplicación de fórmulas para obtener valores carentes de significado. (Jimenez & Fernández, 1998)

Una de las razones de este tratamiento de la definición de potencial eléctrico por parte de los autores de los libros de texto, se debe al desconocimiento de las implicaciones de recurrir al concepto de campo eléctrico para describir la interacción entre cargas. Concretamente, interpretar la interacción entre cargas eléctricas desde el modelo del campo introduce serios cambios ontológicos en comparación a la descripción a partir de la fuerza coulombiana. El principal cambio se encuentra en asociar la causa de la interacción a una magnitud que no depende de la presencia de una carga testigo localizada, sino de la influencia que una carga ejerce en el espacio. De esta forma se facilita la conexión entre diferentes magnitudes físicas a través de la definición del potencial eléctrico, hecho que no sería posible desde la perspectiva coulombiana. (Furió & Guisasola, 1997)

Entre las formas de razonamiento que presentan los alumnos que muestran esta dificultad de aprendizaje se encuentra la fijación funcional. Ya que utilizan las expresiones que relacionan el potencial con otras magnitudes sin plantearse el significado de estas o si es posible aplicarlas al problema que están resolviendo. También suelen presentar concepciones alternativas como considerar que un mismo valor del campo eléctrico en dos puntos diferentes implica que los valores del potencial eléctrico también son iguales, o considerar innecesarios la dirección y sentido del campo eléctrico para el cálculo del potencial eléctrico. (Chhabra & Das, 2020) Establecer la relación del potencial eléctrico con magnitudes como el campo eléctrico, la energía potencial o el trabajo ayudaría a esclarecer y delimitar el significado del potencial eléctrico.

Puesta en evidencia la necesidad de identificar las relaciones entre el potencial eléctrico y otras magnitudes es conveniente construir un mapa conceptual que clarifique y ordene las ideas a tratar que estén relacionadas con el potencial eléctrico. Asimismo, este mapa se podrá utilizar como una herramienta auxiliar para el estudio y para la explicación de la interacción entre cargas.

Actividad 4: Mapas conceptuales

Objetivos específicos	Material necesario
<p>Relacionar los conceptos: campo eléctrico, trabajo y energía potencial eléctrica con el potencial eléctrico.</p> <p>Utilizar mapas conceptuales para organizar y representar las relaciones entre el potencial eléctrico y el campo eléctrico, el trabajo y la energía potencial eléctrica.</p>	<p>Mapas de potencial electrostático (ver Anexo V)</p>

Tabla 9: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 4.

Esta actividad es una continuación de la actividad 3 y conviene ser realizada tras introducir los conceptos de potencial eléctrico, el campo eléctrico, la energía potencial electrostática y el trabajo, así como las relaciones entre los mismos.

La realización de esta actividad requerirá de dos sesiones, en la primera sesión, con la información aportada por el profesor, los alumnos dispondrán de 25 minutos para construir sus propios mapas conceptuales y expresar por escrito la estructura y conectores elegidos. En este caso los conceptos mínimos que deben aparecer en el mapa son el potencial eléctrico, el campo eléctrico, el trabajo y la energía potencial eléctrica. Una vez finalizado este tiempo, los alumnos deberán entregar el mapa con su correspondiente explicación al docente. Un ejemplo de mapa conceptual se muestra en la figura 22.

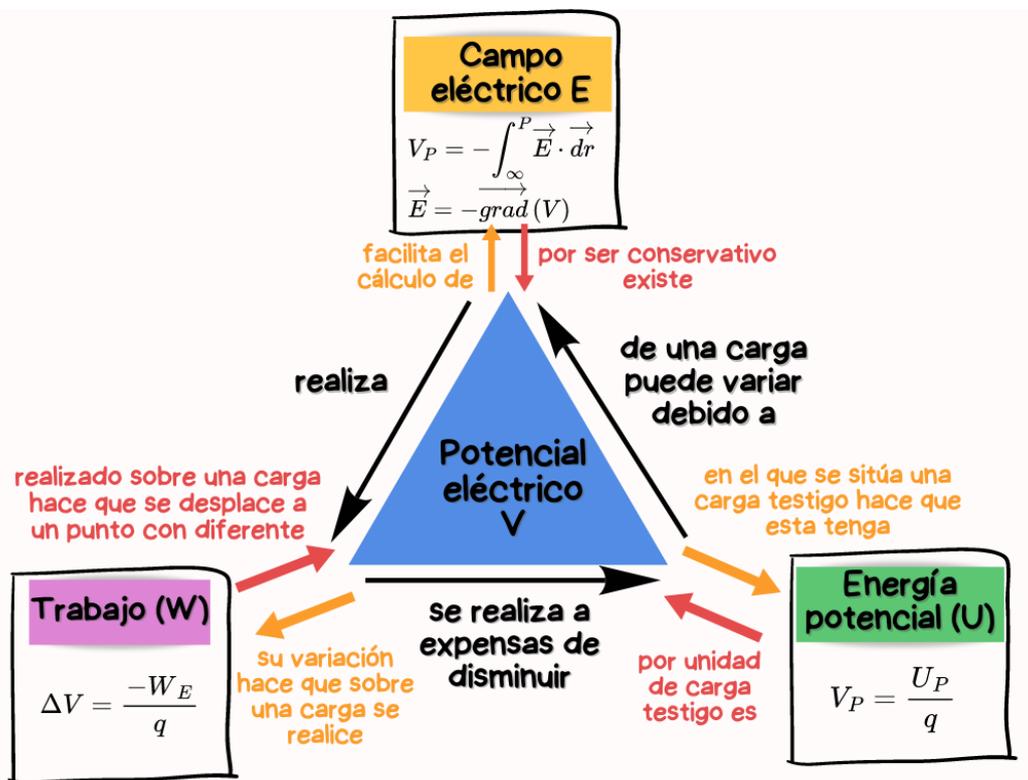


Figura 22: Mapa conceptual sobre el potencial eléctrico. Fuente: elaboración propia.

En la segunda sesión, el docente devolverá los mapas conceptuales corregidos y en 20 minutos se realizará la segunda parte en la que utilizarán los mapas de líneas equipotenciales de la figura 23. Se deberá dibujar las líneas de campo eléctrico explicando el desplazamiento de una carga entre dos puntos del mapa a partir de los conceptos que se incluyen en el mapa conceptual. Así se describirá la interacción entre cargas desde el punto de vista energético. En el anexo V se incluye un mapa de líneas equipotenciales un poco más complejo.

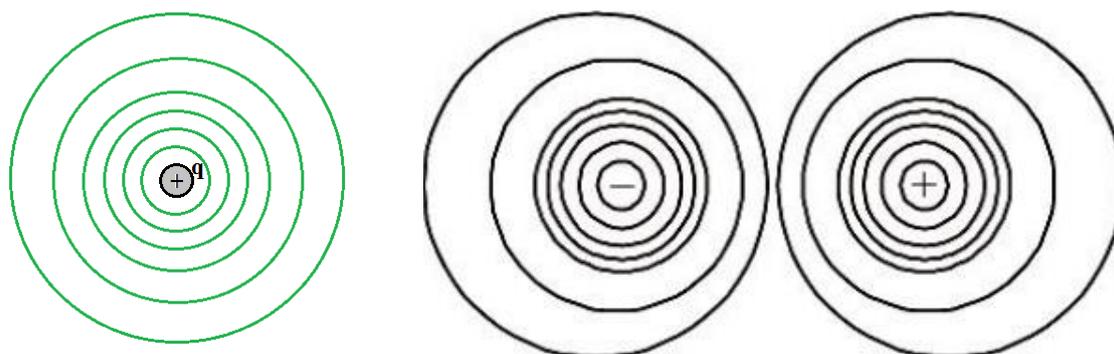


Figura 23: Izquierda: Mapa líneas equipotenciales carga positiva puntual. Extraída de (*Superficies equipotenciales, s.f.*). Derecha: Mapa líneas equipotenciales carga negativa y carga positiva. Extraída de (*Sarthaks, s.f.*)

Los mapas de líneas equipotenciales también deberán ser recogidos y corregidos por el profesor. A continuación, se incluye una explicación general al ejercicio de la segunda parte de la actividad:

Las cargas se desplazan entre dos puntos a distinto potencial debido a la acción del campo eléctrico en el que se encuentran presentes. Partiendo de la expresión $V = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$, y para el caso de cargas puntuales se obtiene la relación:

$$\vec{E} = - \frac{dV}{dr} \vec{r}$$

Siendo r el radio en coordenadas esféricas y \vec{r} el vector unitario con dirección radial.

En un mapa de líneas equipotenciales las líneas de campo siempre son perpendiculares a estas líneas y su dirección y sentido indican la disminución máxima de su correspondiente potencial, tal como se corresponde con la expresión matemática anterior. Se observa que el campo eléctrico tiene una dirección radial indicado por el vector unitario \vec{r} que marca la dirección perpendicular a las líneas equipotenciales dibujadas en el mapa. La variación viene indicada por la derivada del potencial con respecto a la distancia, y el signo menos indica su disminución.

Respecto al trabajo, si se desea desplazar una carga positiva hacia potenciales más altos será necesario realizar un trabajo en contra de las fuerzas del campo, mientras que si una carga positiva se desplaza hacia potenciales más bajos será el propio campo el que realice el trabajo. En el caso de la carga negativa ocurre el caso opuesto, tiende a desplazarse a potenciales más

altos debido al campo eléctrico y será necesario realizar trabajo para hacer que se desplace a potenciales más bajos.

Por último, en cuanto a la energía potencial basta con realizar el producto de la carga por el valor del potencial correspondiente al punto en el que se encuentra. De esta forma para cargas prueba positivas, la energía potencial es menor cerca de las cargas negativas y es mayor cerca de las cargas positivas y viceversa para las cargas prueba negativas. Por este motivo, se produce una disminución de la energía potencial tanto para las cargas positivas como para las negativas al ser desplazadas por el campo eléctrico.

5.4.4. Magnetismo

La dificultad de aprendizaje 6 se analizará en este apartado.

Se modeliza el imán como un objeto cargado cuyo polo norte se asimila a una carga positiva y su polo sur a una carga negativa.

Tal y como se mencionó en el apartado 5.1.2. en el que se describieron las analogías como una herramienta para facilitar el aprendizaje de conceptos más abstractos, es necesario tener en cuenta que un uso incorrecto de las mismas puede provocar la aparición de nuevas dificultades de aprendizaje. A pesar de que el docente trate de emplear las analogías adecuadamente, es inevitable que el alumnado recurra estas de manera espontánea para realizar comparaciones y poder explicar fenómenos desconocidos en base a conceptos previamente estudiados. (Duit, 1991)

Según el currículo de 2º de Bachillerato incluido en el apartado 3.2., el bloque Campo electromagnético se imparte comenzando por los saberes básicos relacionados con la electrostática para posteriormente abordar los referentes al magnetismo siguiendo un orden creciente en complejidad. Con respecto al estudio de la interacción electrostática y la interacción magnética, a menudo se señalan las similitudes presentes entre estas y es por este motivo, que es razonable que los estudiantes establezcan sus propias analogías para lograr describir y comprender los conceptos de magnetismo. Sin embargo, es habitual que estas analogías puedan generar concepciones alternativas, fruto de la falta de comprensión de ambos fenómenos y de la ignorancia de sus diferencias.

Más específicamente, las fuentes de campo magnético se confunden con las fuentes de campo eléctrico. Una concepción alternativa que surge consiste en considerar que en un imán en el polo norte se concentrarían las cargas positivas y en el polo sur las cargas negativas. Partiendo de esta idea, se describe la interacción magnética de forma similar a la interacción electrostática. Esta concepción alternativa implica considerar la fuerza magnética como una fuerza central que interacciona con cargas eléctricas independientemente de su estado de movimiento. Esta omisión injustificada de variables que intervienen en un fenómeno, como la velocidad de una carga presente en un campo magnético, se corresponde con una de las formas de razonamiento mencionadas en el apartado 4.3.2., en concreto, con la reducción funcional. (Guisasola, Almodí, & Zubimendi, 2003)

El origen de esta concepción alternativa podría hallarse en la generalización de la regla: “lo opuesto se atrae, lo similar se repele”, aplicable a la interacción eléctrica y a la magnética. Si bien es cierto que es más frecuente la atribución de propiedades eléctricas a las fuentes de campo magnético, en determinados casos ocurre el caso inverso, es decir, se les atribuye propiedades magnéticas a los campos eléctricos. Una posible explicación a este hecho es el orden de impartición de los conceptos (en este caso comenzar por magnetismo), lo que refuerza la idea del uso espontáneo de analogías por parte de los alumnos en los que se trasladan razonamientos sobre fenómenos ya conocidos a otros nuevos. (Hekkenberga, Lemmerb, & Dekkersc, 2015)

Todas las concepciones alternativas descritas previamente forman parte de un modelo que puede denominarse “magnetismo como electricidad”, y su origen se encuentra precisamente en el establecimiento de estas analogías entre ambas interacciones en base a sus similitudes. (Hekkenberga, Lemmerb, & Dekkersc, 2015) Sin embargo, los modelos presentan limitaciones y es necesario plantear situaciones que reflejen la incompatibilidad del modelo anterior o de modelos similares a este último con los conocimientos científicos. Se recurrirá, entonces, a la construcción de modelos descrita en el apartado 5.1.2.

Actividad 5: Modelos sobre la interacción magnética

Objetivos específicos	Material necesario
Construir modelos sobre la interacción magnética. Adquirir herramientas y estrategias para contrastar diferentes modelos sobre un mismo fenómeno. Establecer mediante el debate un modelo compatible con el conocimiento científico sobre la interacción magnética.	Material de escritura.

Tabla 10: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 5.

Esta actividad, que puede realizarse tras el estudio del campo magnético y sus diversas fuentes, se centrará en la identificación y contraste del modelo “magnetismo como electricidad” con otros modelos siguiendo las etapas de la construcción de modelos. Para ello, se comenzará pidiendo a los alumnos que de manera individual expresen por escrito un modelo que describa la interacción magnética indicando las fuentes del campo magnético y como interactúa con las cargas eléctricas basándose en la teoría vista en clase. Posteriormente se formarán grupos de 4 o 5 personas para que discutan los modelos que han creado previamente. Esta parte se llevará a cabo durante la primera mitad de la sesión.

La segunda parte, que podrá durar la segunda mitad de la sesión o utilizar parte de la siguiente si resultase necesario, consistirá en la discusión, moderada por el profesor, de los modelos presentados por cada grupo al resto de la clase. Durante el debate, se propondrán situaciones basadas en aspectos críticos de la interacción magnética que expongan las incoherencias al aplicar el modelo de magnetismo como electricidad a este fenómeno y que demuestren las limitaciones de este modelo. A continuación, se presentan algunas posibles situaciones que el docente puede introducir durante la discusión exponiendo los razonamientos compatibles con el modelo y las contradicciones con el conocimiento científico:

- 1. Conocimiento científico: La dirección y sentido de un campo eléctrico parte de las cargas positivas hacia las cargas negativas. La dirección y sentido de un campo magnético en el exterior de un imán parte del polo norte al polo sur, y en el interior parte del polo sur hacia el polo norte.**

Supuesto erróneo: Suponiendo que el polo norte de un imán está cargado positivamente y el polo sur de un imán está cargado negativamente y sabiendo que las líneas de campo siempre van de las cargas positivas hacia las cargas negativas. Explicar si es posible que las líneas de campo del imán sean las siguientes:

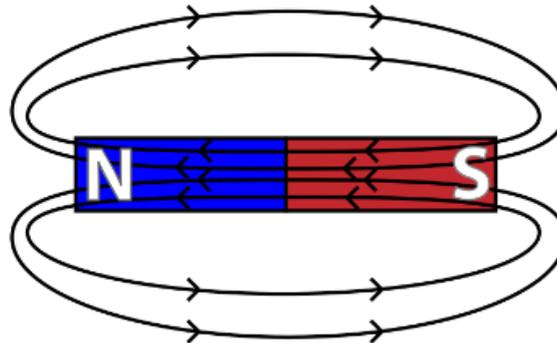


Figura 24: Líneas de campo magnético generadas por un imán. Extraída de (*Magnetic Fields, s.f.*)

Contradicción: En el interior del imán, si el polo norte está cargado positivamente y el sur negativamente, implicaría que las líneas de campo parten de las cargas negativas hacia las positivas al contrario que sucede en el exterior. Esto no se corresponde con las líneas de campo entre cargas eléctricas.

- 2. Conocimiento científico: Los campos eléctricos ejercen fuerzas sobre cargas en reposo y en movimiento, los campos magnéticos solo actúan sobre cargas en movimiento.**

Supuesto erróneo: Suponiendo que los campos magnéticos afectan a cargas en reposo y en movimiento, explicar si en un cable se sitúa un imán estático se produciría una corriente eléctrica por el correspondiente desplazamiento de cargas.

Contradicción: Si el campo magnético estático afectase a las cargas del cable desplazándolas sería posible generar una corriente eléctrica con la mera presencia de un imán, lo que se opone a la ley de Faraday-Lenz que explicita la necesidad de un campo magnético variable para poder producir un campo eléctrico y con este desplazar las cargas.

- 3. Conocimiento científico: La fuerza eléctrica sobre una carga eléctrica siempre actúa en la misma dirección que el campo eléctrico. La fuerza magnética que experimenta una carga eléctrica siempre es perpendicular al campo magnético.**

Supuesto erróneo: Suponiendo que las cargas eléctricas se desplazan en la misma dirección del campo magnético, razona si es posible que la trayectoria de una carga en un espectrómetro de masas sea la que se muestra en la figura 25.

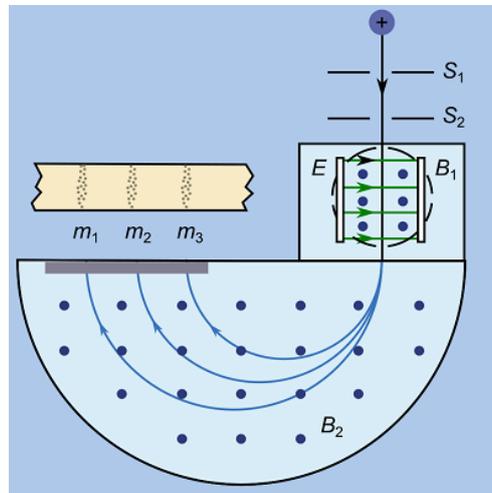


Figura 25: Trayectoria de una carga positiva en un espectrómetro de masas (líneas azules). Extraída de (*Study.com, s.f.*)

Contradicción: Si las cargas se desplazasen en la dirección del campo magnético del espectrómetro de masas no podrían tener una trayectoria circular que les permitiera chocar con la pantalla de la izquierda, sino que se desviarían hacia arriba al entrar dentro del campo magnético.

Tras la discusión se deberá llegar a un modelo compatible con el conocimiento científico y se aclararán la validez y limitaciones de este modelo. Durante todo el debate es necesario que al menos un miembro de cada grupo refleje por escrito los cambios que experimente su modelo en base a los argumentos en contra y a favor que se hayan utilizado para rebatirlo o defenderlo. Finalmente, este documento deberá ser entregado al profesor para su corrección.

5.4.5. Inducción electromagnética

En este último apartado se estudiará la dificultad de aprendizaje 7 recogida en el índice.

No se identifican correctamente los factores asociados a la generación de una fuerza electromotriz inducida (fem).

La inducción electromagnética constituye una de las áreas que despierta mayor interés en el estudio de las dificultades de aprendizaje de electromagnetismo en 2º de Bachillerato como muestran los múltiples estudios referenciados en el apartado 4.2. La principal causa se encuentra en la necesidad de comprender y relacionar diferentes conceptos de electrostática y magnetismo para explicar el fenómeno de la inducción, lo que provoca la aparición de varias dificultades de aprendizaje. Asimismo, entran en juego el análisis de conceptos de gran abstracción como el

concepto de flujo magnético y la relación entre campos eléctricos y magnéticos. (Zuza, Almodí, & Guisasola, 2012)

Aunque la inducción electromagnética presenta diversas dificultades de aprendizaje que a menudo unas pueden resultar la causa o resultado de otras, cabe resaltar la dificultad que presentan los estudiantes al tratar de explicar este fenómeno. En muchos estudios se ha observado que frecuentemente se asocia la mera presencia del campo magnético como causa suficiente para generar una corriente inducida, al igual que ocurre con el concepto de flujo magnético. (Bravo, Bouciguez, & Braunmüller, 2019) También se ha detectado confusión entre el área del circuito en el que se induce corriente y el área recorrida por el mismo dentro de un campo magnético. (Almodí, Zuza, & Guisasola, 2016) Estos aspectos del razonamiento del alumnado denotan su falta de comprensión de la ley de Faraday y la aplicación incorrecta de esta ley para describir el fenómeno de inducción. (Bravo, Bouciguez, & Braunmüller, 2019)

La comprensión y descripción de la inducción electromagnética no es idéntica para todos los alumnos, sino que es posible que presenten una comprensión parcial del fenómeno o que en su razonamiento cohabiten conocimientos correctos y concepciones alternativas por lo que, en varios de los estudios realizados, se han establecido varias categorías para delimitar el grado de comprensión de este fenómeno. Una clasificación es la siguiente:

- ◆ Categoría 1: se desconoce el fenómeno de la inducción electromagnética.
- ◆ Categoría 2: se reconocen los elementos necesarios para la inducción electromagnética, pero se asocia su origen únicamente al movimiento relativo entre la fuente de campo magnético y el circuito.
- ◆ Categoría 3: se describe el fenómeno de la inducción en términos del flujo magnético y cuya variación se justifica de forma causal lineal.
- ◆ Categoría 4: se describe la inducción electromagnética a partir de la variación del flujo magnético en el circuito y cuya magnitud depende de la rapidez de la variación de este flujo.

En estas categorías se puede observar diversas formas de razonamiento común mencionadas en el apartado 4.3.2. como la reducción funcional en la que se considera que el fenómeno de inducción se debe únicamente a la presencia del campo magnético o el flujo magnético ignorando los otros posibles factores. O también el razonamiento secuencial lineal en el que se considera que el aumento de una magnitud (flujo magnético) implica el aumento de otra (fem), sin considerar que otros cambios puedan afectar de manera conjunta al sistema y producir otros efectos diferentes. (Inorreta, Bravo, & Bravo, 2021)

Debido a la necesidad de identificar qué magnitudes intervienen en el fenómeno de la inducción electromagnética y en qué condiciones esta ocurre, se hará uso de una aplicación que permita a los estudiantes observar y analizar la dependencia de la inducción electromagnética de estos factores.

Actividad 6: ¿De qué depende la inducción electromagnética?

Objetivos específicos	Material necesario
Reconocer las magnitudes involucradas en el fenómeno de inducción magnética. Identificar las condiciones necesarias para que la inducción electromagnética tenga lugar. Razonar leyes físicas en base a la observación y la experimentación.	Ordenadores con conexión a Internet y con Java Aplicación del PhET: Faraday's Electromagnetic Lab

Tabla 11: Objetivos específicos y material necesario para la actividad 6.

La realización de esta actividad puede tener lugar tras el estudio de las magnitudes relacionadas con la inducción electromagnética como el campo magnético, el flujo magnético y la fuerza electromotriz, junto con la explicación de este fenómeno. La actividad se realizará en una sala de ordenadores de manera que cada alumno dispondrá de su propio ordenador con la aplicación: Faraday's Electromagnetic Lab del PhET instalada, aunque es posible organizarlos por parejas en caso de no disponer de suficientes equipos informáticos. La aplicación puede obtenerse mediante el siguiente enlace: <https://excelschools.net/en/simulation/faraday.html>

Durante los primeros 15-20 minutos de la sesión el profesor deberá organizar la disposición de los alumnos en la sala de ordenadores, entregar a cada alumno una ficha, que se describirá más adelante, con las preguntas que deberán razonar y responder con la ayuda del laboratorio virtual. También deberá enseñar a los alumnos a utilizar la aplicación indicando las disposiciones con las que se trabajarán, las opciones de interés y la traducción al español de los términos que aparecen en el programa. En la figura 26 se muestra la interfaz del programa.

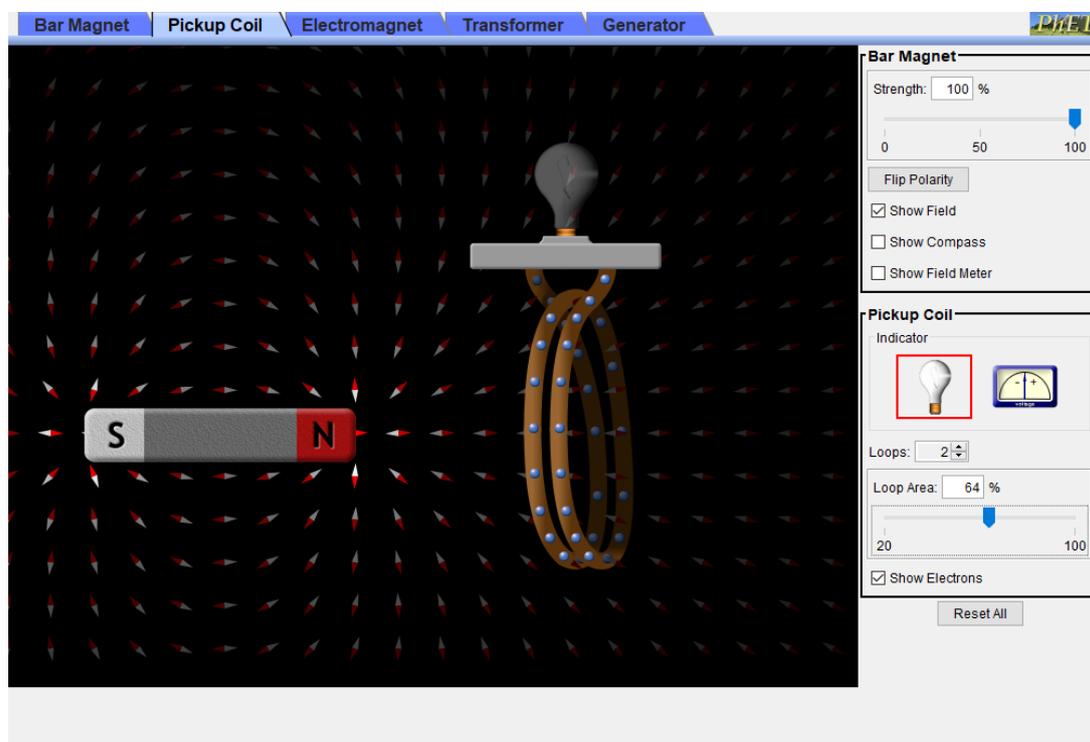


Figura 26: Interfaz de la aplicación: Faraday's Electromagnetic Lab. Representación de una bombilla conectada a un solenoide y un imán. Imagen generada con Faraday's Electromagnetic Lab.

Como se puede observar, el programa cuenta con las opciones necesarias para modificar todas las magnitudes involucradas en la inducción electromagnética como el campo magnético, la superficie del circuito y el ángulo formado por las dos variables anteriores. En este caso el fenómeno de la inducción electromagnética se aprecia mediante la iluminación de la bombilla como puede verse en la figura 27:

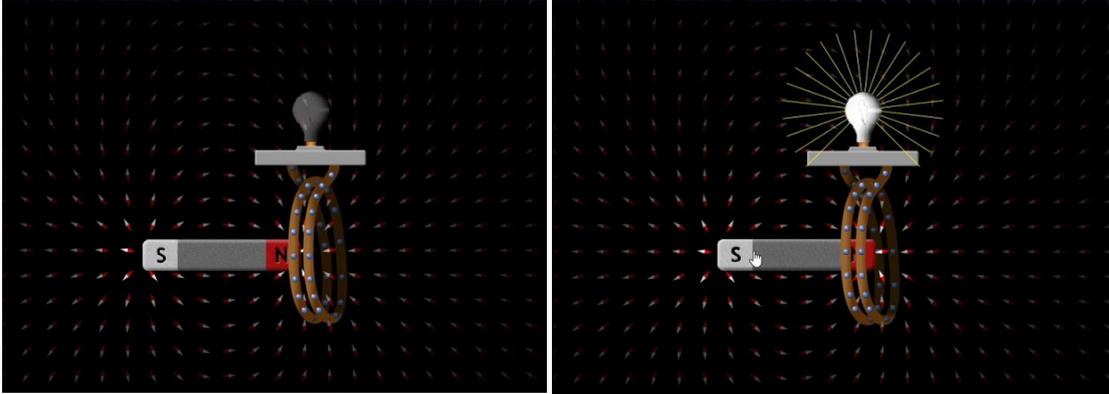


Figura 27: Representación de la inducción electromagnética a partir del desplazamiento relativo de un imán con respecto al circuito. Figura generada con Faraday's Electromagnetic Lab.

Una vez finalizada la introducción al uso del programa se dedicará el resto de la sesión a estudiar la inducción electromagnética tomando las preguntas como guía. Mientras los alumnos resuelven el ejercicio, el docente debe dar indicaciones o apoyar a aquellos alumnos que no logren comprender las preguntas o la representación que están visualizando en el programa.

A continuación, se presenta la ficha a resolver con las preguntas en cuestión. Todas las respuestas se deben justificar a partir de la ley de Faraday-Lenz y los resultados obtenidos con el laboratorio virtual:

Ve a la pestaña "Pickup Coil".

Anota si la bombilla se enciende, si la intensidad es alta o baja y en qué condiciones esto ocurre en los siguientes casos:

- Modifica la intensidad del campo magnético del imán. ¿Qué observas si lo aumentas o lo disminuyes? ¿Importa la velocidad con la que varía el campo magnético del imán?
- Desplaza el imán manteniendo el solenoide en una posición fija. ¿Obtienes el mismo resultado al variar la velocidad de desplazamiento del imán? Si desplazas siempre el imán con la misma velocidad, ¿en qué dirección observas una mayor intensidad en la bombilla?
- Repite el apartado anterior pero ahora manteniendo el imán fijo y desplazando la espira de la misma forma. ¿Varían los resultados con respecto al apartado anterior?
- Modifica el área del solenoide. ¿La velocidad de variación del área afecta a la intensidad de la bombilla?

e) Invierte la polaridad del imán. ¿Observas algún cambio en la intensidad de la bombilla?

Ve a la pestaña "Generator".

a) Abre el grifo para hacer girar el imán a una determinada velocidad angular. ¿Qué observas respecto a la iluminación de la bombilla? ¿Depende de la velocidad angular del imán? ¿La intensidad es siempre constante?

A partir de las observaciones anteriores, identifica las magnitudes que has modificado para conseguir que la lámpara se encendiese y para cada una de esas magnitudes indica qué condición ha permitido que la lámpara se iluminase.

Con esta información halla una magnitud que dependa de las magnitudes indicadas anteriormente. ¿Cómo se llama esta magnitud?

Según la ley de Faraday-Lenz, ¿qué condición debe cumplirse para que se produzca una fem inducida teniendo en cuenta la magnitud hallada en el apartado anterior?

Problema: Si se desea cargar una batería a un determinado voltaje indica cuales son los elementos necesarios para hacerlo mediante la ley de Faraday-Lenz. Dibuja un esquema indicando estos elementos y el procedimiento empleado para cargar la batería. Si ahora esta batería requiere de un mayor voltaje para cargarse qué posibles modificaciones introducirías en tu sistema para lograr cargarla.

En caso de no poder finalizar el ejercicio en esta sesión es posible dedicar parte de la siguiente. Otra posible opción en caso de que el alumnado disponga de ordenadores en su casa es mandar el resto del ejercicio como deberes, lo cual por un lado facilitaría una mejor reflexión al disponer de más tiempo, pero reduciría la ayuda por parte del docente y de sus compañeros. Al finalizar el ejercicio, este deberá ser entregado para su futura corrección.

5.5. Evaluación

De todas las partes que consta esta propuesta didáctica, la evaluación constituye una de las más importantes ya que determinará si la puesta en práctica ha sido realmente efectiva para la superación de dificultades de aprendizaje del alumnado y si la ejecución ha sido la adecuada.

5.5.1. Evaluación del alumnado

Según el Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, la evaluación del alumnado debe realizarse de acuerdo con los criterios de evaluación establecidos para la asignatura que corresponda, en este caso, Física de 2º de Bachillerato. Los criterios de evaluación, a través de los descriptores operativos determinarán el grado de adquisición de las competencias clave gracias a esta asignatura.

Cada una de las actividades de esta propuesta tienen asignados una serie de objetivos específicos a lograr para alcanzar los objetivos principales enunciados en el apartado 2. Concretamente, la evaluación del alumnado se realizará a través de la entrega de los ejercicios correspondientes a las actividades que deben ser recogidos y corregidos por el profesor. Para

determinar el cumplimiento de los objetivos específicos se hará uso de una rúbrica en la que se le asignará un porcentaje de puntuación a cada objetivo específico y se comprobará en base a una serie de indicadores. El grado de cumplimiento podrá tomar los valores 0, 0.5 o 1 según las correcciones del docente. A continuación, se presenta la rúbrica de cada una de las actividades:

Actividad 0 Contextualización de derivadas e integrales		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Comprender el significado físico de las integrales y de las derivadas y establecer su conexión con su significado matemático. (60%)	Asocia la pendiente de una curva a la variación de una magnitud como el potencial eléctrico con respecto a otra magnitud como la distancia.	
	Asocia el concepto de integral de superficie a la suma de las áreas de los diferenciales de superficie.	
Facilitar la comprensión de magnitudes utilizadas en electromagnetismo y las relaciones entre estas a partir de sus expresiones matemáticas. (40%)	Justifica correctamente la relación matemática entre el campo eléctrico y el potencial eléctrico a partir de sus gráficas.	
	Asocia el concepto de flujo de campo eléctrico a la suma del valor del campo eléctrico evaluado en los infinitesimales de la superficie que atraviesa.	

Tabla 12: Rúbrica para la actividad 0.

Actividad 1 Familiarizándonos con el campo eléctrico y el campo magnético		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Comprender el concepto de campo eléctrico y de campo magnético. (50%)	Concibe el campo eléctrico y el campo magnético como magnitudes físicas presentes en el espacio cercano a sus correspondientes fuentes.	
	Comprende el significado de las líneas de campo eléctrico y de campo magnético.	
Visualizar el efecto del campo eléctrico y del campo magnético en la vida real y dotarles de significado físico. (50%)	Identifica la presencia de un campo eléctrico, mediante la observación de la distribución de las semillas debido a la acumulación de carga eléctrica en un electrodo.	
	Identifica correctamente si en una distribución de imanes, los polos magnéticos que se enfrentan son iguales u opuestos en base a las líneas de campo magnético observadas.	

Tabla 13: Rúbrica para la actividad 1.

Actividad 2 Ondas electromagnéticas. Un antes y un después.		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Reconocer la necesidad del concepto de campo eléctrico y el campo magnético para la explicación de fenómenos electromagnéticos. (40%)	Comprende las limitaciones de la interpretación de la interacción eléctrica y magnética mediante las fuerzas a distancia.	
	Justifica las ventajas del modelo de campo eléctrico y campo magnético para la explicación de la interacción eléctrica y magnética.	
Situación cronológicamente eventos relevantes de la historia del electromagnetismo para adquirir una visión holística. (25%)	Selecciona los eventos más relevantes relacionados con la evolución del concepto de campo eléctrico y campo magnético.	
	Ordena correctamente los eventos seleccionados dentro de la línea temporal.	
	Expresa claramente la descripción y la relevancia de los eventos seleccionados.	
Conocer las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en la vida cotidiana. (35%)	Expone aplicaciones comunes en diferentes zonas del espectro electromagnético explicando su utilidad.	
	Relaciona las propiedades de las ondas electromagnéticas al funcionamiento de las aplicaciones elegidas.	

Tabla 14: Rúbrica para la actividad 2.

Actividad 3 Potencial eléctrico vs potencial gravitatorio		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Comprender el concepto de potencial eléctrico a nivel físico. (65%)	Explica la interacción entre una carga fuente y una carga testigo desde el punto de vista energético a partir del concepto de potencial eléctrico.	
	Reconoce las ventajas del potencial eléctrico para la explicación de la interacción entre cargas desde el punto de vista energético.	
Establecer una analogía entre el potencial eléctrico y el potencial gravitatorio. (35%)	Razona correctamente el motivo por el que es posible establecer una analogía entre el potencial gravitatorio y el potencial electrostático.	
	Hace un uso correcto de la analogía entre el potencial gravitatorio y el potencial eléctrico para analizar la interacción entre una carga fuente positiva y una carga testigo positiva.	
	Identifica las diferencias y similitudes entre el potencial eléctrico y el potencial gravitatorio estableciendo las limitaciones de la analogía.	

Tabla 15: Rúbrica para la actividad 3.

Actividad 4 Mapas conceptuales		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Relacionar los conceptos: campo eléctrico, trabajo y energía potencial eléctrica con el potencial eléctrico. (50 %)	Identifica mediante expresiones matemáticas las relaciones entre los conceptos.	
	Describe la interacción entre cargas a través de los diferentes conceptos estableciendo las relaciones entre estos.	
	Interpreta los mapas de líneas equipotenciales en base a los diferentes conceptos y dibuja las líneas de campo eléctrico correctamente.	
Utilizar mapas conceptuales para organizar y representar las relaciones entre el potencial eléctrico y el campo eléctrico, el trabajo y la energía potencial eléctrica. (50%)	Selecciona nexos expresando correctamente la relación entre dos magnitudes.	
	Organiza de forma coherente los conceptos dentro del mapa justificando las relaciones establecidas.	

Tabla 16: Rúbrica para la actividad 4.

Actividad 5 Modelos sobre la interacción magnética		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Construir modelos sobre la interacción magnética. (30%)	Crea un modelo basándose en una serie de hipótesis claras y coherentes entre sí.	
	Explica la interacción magnética de acuerdo con el modelo creado y considerando sus limitaciones.	
Adquirir herramientas y estrategias para contrastar diferentes modelos sobre un mismo fenómeno. (30%)	Expresa de forma clara, ordenada y razonada las bases del modelo creado y el fenómeno que trata de explicar.	
	Analiza las características de otros modelos diferentes y los compara con el propio para comprobar la fiabilidad del modelo.	
Establecer mediante el debate un modelo compatible con el conocimiento científico sobre la interacción magnética. (40%)	Participa activamente en el debate y toma en consideración las aportaciones de otros compañeros de forma respetuosa.	
	Desarrolla argumentos a favor y en contra de los modelos aplicando el razonamiento en base a las hipótesis del modelo a contrastar y el conocimiento científico.	

Tabla 17: Rúbrica para la actividad 5.

Actividad 6 ¿De qué depende la inducción electromagnética?		
Objetivos específicos	Indicadores	Grado de cumplimiento
Reconocer las magnitudes involucradas en el fenómeno de inducción magnética. (35%)	Identifica el campo magnético, el área del circuito, el flujo de campo magnético y el ángulo entre el campo magnético y el área dentro del fenómeno de inducción.	
	Comprende el significado de flujo de campo magnético y su relación con el campo magnético y el área que atraviesa.	
Identificar las condiciones necesarias para que la inducción electromagnética tenga lugar. (35%)	Controla de forma razonada las diferentes magnitudes disponibles y observa los efectos provocados por estas variaciones.	
	Enuncia hipótesis sobre las condiciones que no producen inducción electromagnética y aquellas que sí lo producen en base a los efectos observados.	
Razonar leyes físicas en base a la observación y la experimentación. (30%)	Contrasta los efectos observados en la experimentación con los predichos por la ley de Faraday-Lenz.	
	Relaciona las magnitudes y las condiciones necesarias para la inducción electromagnética con la ley de Faraday-Lenz.	

Tabla 18: Rúbrica para la actividad 6.

A partir del grado de cumplimiento de los objetivos específicos reflejado en las anteriores rúbricas, si a cada actividad se le asigna una serie de criterios de evaluación correspondientes a las competencias específicas (CE), también se podrá determinar el grado de adquisición de las competencias clave. En la siguiente tabla se muestra la relación de cada actividad con sus criterios de evaluación que se enunciaron en el apartado 3.2.3.:

Actividad	Criterios de evaluación					
	CE.1.	CE.2.	CE.3.	CE.4.	CE.5.	CE.6.
A.0. Contextualización de derivadas e integrales		2.2.	3.2. 3.3.			6.2.
A.1. Familiarizándonos con el campo eléctrico y el campo magnético		2.1.	3.1.	4.2.	5.2.	
A.2. Ondas electromagnéticas. Un antes y un después.	1.1.	2.1. 2.3.		4.1. 4.2.	5.3.	6.1. 6.2.
A.3. Potencial eléctrico vs potencial gravitatorio	1.2.	2.1.	3.1. 3.3.	4.2.		
A.4. Mapas conceptuales	1.2.	2.1.	3.1. 3.2. 3.3.	4.1. 4.2.		
A.5. Modelos sobre la interacción magnética		2.1.	3.1.	4.1.		
A.6. ¿De qué depende la inducción electromagnética?	1.2.	2.1. 2.2.	3.1. 3.3.	4.2.	5.1. 5.2.	

Tabla 19: Relación entre las actividades y los criterios de evaluación.

Para hallar la contribución de cada actividad a las competencias clave se ha calculado el número de descriptores operativos totales asociados a cada competencia clave trabajados en las actividades como se muestra en la tabla 20.

Competencias clave	Número total de descriptores operativos asociados
CCL	31
CP	8
STEM	54
CD	24
CPSAA	16
CC	8
CE	4

Tabla 20: Número total de descriptores operativos asignado a cada competencia clave.

Con los valores obtenidos en la tabla 20 se ha calculado la contribución de cada actividad a cada competencia clave. Los correspondientes porcentajes se recogen en la tabla 21.

Actividades	Contribución a las competencias clave						
	CCL	CP	STEM	CD	CPSAA	CC	CE
0	9,7	0,0	11,1	4,2	12,5	0,0	0,0
1	12,9	12,5	7,4	8,3	12,5	12,5	25,0
2	9,7	25,0	16,7	20,8	31,3	37,5	50,0
3	16,1	12,5	14,8	12,5	6,3	12,5	0,0
4	22,6	25,0	20,4	29,2	12,5	12,5	0,0
5	9,7	12,5	5,6	12,5	6,3	12,5	0,0
6	19,4	12,5	24,1	12,5	18,8	12,5	25,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabla 21: Porcentaje de contribución de las actividades de la propuesta a las competencias clave.

6. Conclusiones

Como se ha podido comprobar en base a los antecedentes en investigación de las dificultades de aprendizaje, estas aún suponen un obstáculo para la construcción de conocimientos científicos por parte del alumnado. Precisamente, en áreas de mayor complejidad y abstracción como es el caso del electromagnetismo de Física de 2º de Bachillerato, se ha corroborado mediante las dificultades de aprendizaje analizadas, que las características de esta materia como la interrelación entre los conceptos o el uso de herramientas matemáticas pueden propiciar la aparición de dificultades de aprendizaje. De esta manera, se manifiesta la necesidad de presentar una propuesta didáctica que sirva como apoyo a los docentes para corregir este problema.

Aunque dentro de la didáctica de las ciencias no existe un consenso en cuanto a la definición de dificultad de aprendizaje, se han identificado e indagado en las posibles causas que llevan a su aparición. En este Trabajo de Fin de Máster se han analizado tres:

- ◆ Las concepciones alternativas se definen como ideas previas al aprendizaje que se organizan en esquemas cognitivos coherentes pero que suponen un razonamiento alejado de los conocimientos científicos. Se ha identificado los factores que pueden

fomentar la creación de concepciones alternativas por parte de los alumnos como: la influencia de las experiencias cotidianas, la influencia de la comunicación verbal, visual y escrita, los libros de texto, la metodología utilizada en el proceso enseñanza-aprendizaje y la inteligencia artificial.

Las concepciones alternativas se han encontrado entre las causas de la dificultad existente en la interpretación de la interacción magnética y en la dificultad para reconocer los factores causantes de la inducción electromagnética. En ambos casos, los alumnos suelen recurrir a razonamientos basados en concepciones alternativas, como pensar que los polos de un imán están cargados o que la mera variación de un campo magnético puede inducir corriente en un circuito. En el caso de las dificultades relacionadas con el desconocimiento del significado físico del concepto de campo o del concepto de potencial eléctrico, aunque no se abordan las posibles concepciones alternativas per se, sus causas se encuentran relacionadas con las de las concepciones alternativas como la información que aportan los libros de texto o la ausencia de experiencias en la vida cotidiana.

- ◆ Las formas de razonamiento hacen referencia a los razonamientos que afectan negativamente al aprendizaje y dificultan la resolución de problemas por su superficialidad. Dentro de estas se han enmarcado los heurísticos y las formas de razonamiento de “sentido común”. Estas últimas quedan subdivididas en la fijación funcional, la reducción funcional y el razonamiento secuencial lineal.

Se han identificado formas de razonamiento de “sentido común” en varias dificultades de aprendizaje. En específico, en la incompreensión de la relación del potencial eléctrico con otras magnitudes físicas o en la identificación incorrecta de los factores causantes de la inducción electromagnética, al usar las expresiones matemáticas para calcular otras magnitudes a partir del potencial no se tienen en cuenta las condiciones necesarias para su aplicación, o al describir el fenómeno de la inducción no se consideran todas las magnitudes y condiciones que entran en juego.

- ◆ La actitud hacia las ciencias por parte del alumno se forma a partir de diversos factores y, a pesar de su escaso estudio, afectan en gran medida al aprendizaje. Se ha concluido que los medios de comunicación, la metodología aplicada por el profesor, la valoración social de las ciencias y el tiempo dedicado a estas dentro del sistema educativo, son algunos de los aspectos más influyentes.

En las dificultades relacionadas con el uso de las herramientas matemáticas en electromagnetismo o en el desconocimiento de la necesidad del concepto de campo para la explicación de las interacciones eléctricas y magnéticas, se ha observado que si no se reconoce la utilidad de las herramientas matemáticas en el ámbito de la Física o del concepto de campo para las aplicaciones en la vida cotidiana, las actitudes negativas pueden dificultar el proceso de relacionar áreas diferentes como las Matemáticas y la Física o anular el interés por conocer las posibles aplicaciones del electromagnetismo.

Para orientar la propuesta didáctica hacia la superación de estas dificultades de aprendizaje se han establecido una serie de objetivos principales a alcanzar a partir del cumplimiento de los objetivos específicos asociados a cada una de las dificultades de aprendizaje.

Dentro de la propuesta, se han proporcionado varios instrumentos para la detección de las dificultades de aprendizaje como un cuestionario de respuesta abierta y preguntas para realizar una entrevista a los alumnos con el fin de obtener información más completa sobre las dificultades de aprendizaje abordadas. Las herramientas o estrategias seleccionadas para la superación de las siete dificultades recogidas en la propuesta se seleccionaron según sus causas y sus características:

El desconocimiento del significado físico de las herramientas matemáticas aplicadas al electromagnetismo surge por el aislamiento de los instrumentos matemáticos con respecto a los conceptos físicos. Por tanto, se ha considerado necesario aplicar un enfoque interdisciplinar a través de ejercicios cuya resolución requieren de la comprensión tanto del significado físico de las herramientas matemáticas como de los conceptos matemáticos con los que se definen.

La carencia de significado físico del concepto de campo está relacionada con su definición matemática, su carácter abstracto y la escasez de experiencias en la vida cotidiana que faciliten la comprensión de este concepto. Por estos motivos, se ha decidido recurrir al diálogo autoritario interactivo para delimitar qué se entiende como campo y a las experiencias de cátedra (o aplicaciones como alternativa) para dar a los alumnos experiencias reales en las que puedan visualizar el campo eléctrico y el campo magnético.

El desconocimiento de la necesidad del concepto de campo para la explicación de las interacciones eléctricas y magnéticas tiene su origen en la presentación del campo eléctrico y el magnético como magnitudes definidas a partir del concepto de fuerza sin incidir en los cambios ontológicos. Como solución se ha propuesto la construcción de una línea temporal que aporte una perspectiva histórica del origen del campo y la búsqueda de información de aplicaciones de la vida cotidiana basadas en las ondas electromagnéticas.

A la carencia de significado físico del potencial eléctrico se le asocia como causa el tratamiento puramente operativo del concepto, característico de los libros de texto. Por ello, se ha recurrido a la analogía con otros dominios ya conocidos y menos abstractos como es el caso del potencial gravitatorio.

El desconocimiento de la relación entre el potencial eléctrico con otras magnitudes físicas como el campo eléctrico, la energía potencial o el trabajo se debe a las múltiples definiciones del potencial eléctrico y las implicaciones ontológicas al estudiar la interacción entre cargas mediante el potencial en lugar de la fuerza. Para delimitar el significado del potencial eléctrico y organizar las relaciones con las otras magnitudes se ha decidido hacer uso de los mapas conceptuales.

La concepción alternativa de asociar los polos magnéticos de un imán a cargas eléctricas opuestas surge del uso incorrecto de analogías entre la interacción eléctrica y la interacción magnética por parte del alumnado. Esta concepción alternativa suele formar parte de un modelo de la interacción magnética creado por el alumno, por lo que se ha considerado adecuado realizar un contraste entre los modelos existentes a través del debate.

La identificación incorrecta de los factores causantes de la inducción electromagnética se puede relacionar con la presencia de concepciones alternativas en el razonamiento del alumnado o la confusión de las magnitudes o condiciones que intervienen en este fenómeno. Por lo tanto, se ha propuesto el uso de un laboratorio virtual que permita a los estudiantes tener un control absoluto de las magnitudes y de las condiciones para que comprueben cuales son las responsables de la inducción electromagnética.

Por último, se ha proporcionado una rúbrica diseñada para cada dificultad para determinar el grado de cumplimiento de los objetivos específicos mediante las actividades, y la relación de estas con los criterios de evaluación.

En resumen, se espera que la implementación de esta propuesta didáctica en el aula contribuya a una mejora en la comprensión del electromagnetismo al tomarse en consideración las dificultades de aprendizaje presentes en el alumnado y al utilizar herramientas cuya aplicación ha sido especialmente diseñada para la superación de estas dificultades.

7. Bibliografía

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, 340, de 30 de diciembre de 2020. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>

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>

Decreto 40/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. Boletín Oficial de Castilla y León, 190, de 30 de septiembre de 2022. <https://bocyl.jcyl.es/boletines/2022/09/30/pdf/BOCYL-D-30092022-4.pdf>

Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León. Boletín Oficial de Castilla y León, 190, de 30 de septiembre de 2022. <https://bocyl.jcyl.es/boletines/2022/09/30/pdf/BOCYL-D-30092022-3.pdf>

2-D *Vector Field Simulation*. (s.f.). Recuperado el 1 de Julio de 2024, de <https://www.falstad.com/vector/index.html>

3-D *Electrostatic Field Simulation*. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2024, de <https://www.falstad.com/emstatic/>

3-D *Magnetostatic Field Simulation*. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2024, de <https://www.falstad.com/vector3dm/>

Almudí, J. M., Zuza, K., & Guisasola, J. (2016). Aprendizaje de la teoría de inducción electromagnética en cursos universitarios de física general. Una enseñanza por resolución guiada de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 7-24.

- Alonso, A. (1990). Concepciones alternativas en física y química de Bachillerato: Una metodología diagnóstica. *Enseñanza de las ciencias*, 251-258.
- Alonso, M., & Finn, E. (1999). *Física. Volumen II: Campos y Ondas*. México: Adisson-Wesley Iberoamericana.
- Amadeu, R., & Leal, J. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las ciencias*, 177-188.
- aplusphysics*. (s.f.). Recuperado el 7 de Junio de 2024, de <https://www.aplusphysics.com/courses/honors/magnets/magfields.html>
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Benavente, M. N., Cuesta, A., Rodríguez, G. A., & Gómez, M. A. (2021). Objeto de aprendizaje para la enseñanza del electromagnetismo. *Revista de enseñanza de la Física*, 45-53.
- Benítez, B. (2023). El constructivismo. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*, 65-66.
- Brauer, H., Ziolkowski, M., Porzig, K., & Toepfer, H. (2011). Modelling and Simulation of a Simple Homopolar Motor of Faraday's Type. *FACTA UNIVERSITATIS Series Electronics and Energetics*, 221-242.
- Bravo, B., Bouciguez, M. J., & Braunmüller, M. (2019). Una propuesta didáctica diseñada para favorecer el aprendizaje de la Inducción Electromagnética básica y el desarrollo de competencias digitales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.
- Burgoon, J., Heddle, M., & Duran, E. (2010). Re-Examining the Similarities Between Teacher and Student Conceptions About Physical Science. *Journal of Science Teacher Education*, 859-872.
- Campanario, J. M., & Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 155-169.
- Cárdenas, C. (2004). Acercamiento al origen del constructivismo. *Revista Electrónica Sinéctica*, 10-20.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 183-208.
- Carrera, L. T., & Ramírez, M. H. (2017). Diseño, implementación e impacto de prototipos experimentales para mejorar la enseñanza de la ley de Biot-Savart en estudiantes de ingeniería. *Latin-American Journal of Physics Education*.
- Chau, L., Duc, N., & Tong, D. (2021). The Teaching of the Concept of Derivative in High School and Its Relationship with Physics. *Universal Journal of Educational Research*, 186-201.

- Chhabra, M., & Das, R. (2020). Undergraduate students' mental models of electrostatic potential. *International Conference to Review Research in Science, Technology and Mathematics Education* (págs. 455-462). Mumbai: Epiteme 8.
- Collazos, C. A., Otero, H. R., Isaza, J. J., & Mora, C. (2016). Enseñanza de la Electrostatica por Medio de la Construcción de Prototipos de Bajo Costo y el Aprendizaje Basado en Proyectos. *Formación Universitaria*.
- de Pro, A. (2009). ¿Qué investigamos sobre la Didáctica de las Ciencias Experimentales en nuestro contexto educativo? *Investigación en la escuela*, 45-59.
- Dorrío, B., & Vieites, A. (2007). Actividades manipulativas para el aprendizaje de la Física. *Revista Iberoamericana de Educación*.
- Duit, R. (1991). The role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 649-672.
- Electricity and Magnetism*. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2024, de <https://courses.umass.edu/plecprep/em/5b1040.html>
- Electromagnetism and fields*. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2024, de <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/the-restless-universe/content-section-2.4.1>
- Electromagnetismo. El campo magnético. Más ejercicios resueltos*. (s.f.). Recuperado el 13 de Abril de 2024, de <https://arteagafisica.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/12/06-fisica-solucion-mc3a1s-ejercicios-18-19.pdf>
- Faraday, M. (1852). On the physical character of the lines of magnetic force. *Philosophical Magazine*, 401-428.
- Feynman, R. (1977). Electromagnetism. En R. Feynman, R. Leighton, & M. Sands, *The Feynmann lectures on Physics. Volume II*. (págs. 1-10). Nueva York: Basic Books.
- Furió, C., & Guisasola, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 259-271.
- Furió, C., & Guisasola, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y de universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 131-146.
- Furió, C., & Guisasola, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las ciencias*, 441-452.
- Furió, C., & Guisasola, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*, 319-334.
- Griffiths, D. (2012). *Introduction to electrodynamics*. Pearson. Recuperado el 2 de Junio de 2024, de https://es.wikipedia.org/wiki/Potencial_el%C3%A9ctrico

- Guisasola, J., Almudí, J., & Zubimendi, J. (2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 79-94.
- Hekkenberga, A., Lemmerb, M., & Dekkersc, P. (2015). An analysis of teachers' concept confusion concerning electric and magnetic fields. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 34-44.
- History of electromagnetic theory*. (s.f.). Recuperado el 30 de Mayo de 2024, de https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_electromagnetic_theory
- Inorreta, Y., Bravo, B., & Bravo, S. (2021). La enseñanza y el aprendizaje del fenómeno de inducción electromagnética en el nivel secundario. *Revista de la enseñanza de la Física*, 357-365.
- Inorreta, Y., Bravo, B., & Bravo, S. (2023). Una propuesta didáctica para enseñar el fenómeno de inducción electromagnética en el nivel secundario. *Revista de la enseñanza de la Física*, 183-190.
- Jelicic, K., Planinic, M., & Planinsic, G. (2017). Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction. *Physical Review Physics Education Research*.
- Jimenez, E., & Fernández, E. (1998). Didactic problems in the concept of electric potential difference and an analysis of its philogenesis. *Science and Education*, 129-1241.
- Jin, Z. (2023). Analysis of electromagnetic wave applications and development. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 172-181.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 173-184.
- Kempa, R. F. (1991). Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies. *Enseñanza de las ciencias*.
- León, C., Godoy, M. M., Donoso, L., & Campoverde, A. (2021). El laboratorio virtual en el aprendizaje procedimental de la asignatura de Física. *Polo del Conocimiento*, 167-181.
- Llancaqueo, A., Caballero, M. C., & Moreira, M. A. (2003). El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 227-253.
- Magnetic field*. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2024, de https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field#History
- Meredith, D., & Marrongelle, K. (2008). How students use mathematical resources in an electrostatics context. *American Journal of Physics*, 570-578.
- Minecan, A. M. (2017). Análisis y traducción bilingüe de la carta de Pedro el Peregrino de Maricourt al caballero Siger de Foucaucourt: Sobre el imán (De magnete). *Disputatio Philosophical Research Bulletin* 6:7, 277-307.

- Moreira, M. (2010). ¿Por qué conceptos? ¿Por qué aprendizaje significativo? ¿Por qué actividades colaborativas? ¿Por qué mapas conceptuales? *Revista Currículum*, 9-23.
- Number of ChatGPT Users (Apr 2024)*. (s.f.). Recuperado el 14 de Abril de 2024, de <https://explodingtopics.com/blog/chatgpt-users#growth>
- Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (s.f.). Recuperado el 18 de Junio de 2024, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ortiz, D. (2015). El constructivismo como teoría y método de enseñanza. *Sophia: colección de Filosofía de la Educación*, 93-110.
- Osorio, B. E., Mejía, L. S., Osorio, J. A., Campillo, G. E., & Covaleda, R. (2012). Análisis de la Enseñanza y el Aprendizaje del Electromagnetismo en el Nivel Tecnológico y Universitario. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 24-28.
- Oyuela, I., & Barragán, I. G. (2011). Secuencia de enseñanza para la presentación del análisis del fenómeno de inducción electromagnética. *Revista Científica. 5º Congreso Nacional de Enseñanza de la Física*.
- Pagella, L., Pinato, J., & Sosa, L. (2021). Aplicación de estrategias de aprendizaje activo de campo magnético y fuerza magnética en bachillerato. *Avances en la Enseñanza de la Física*.
- Palmero, M. L., & Moreira, M. (2018). *Mapas conceptuales: herramientas para el aula*. Barcelona: Octaedro.
- Perales, F. J. (2018). El área de Didáctica de las Ciencias Experimentales en España: entre la tribulación y la esperanza. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1-14.
- Pérez, D., Carrascosa, J., & Terrades, F. (1999). El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. *Revista Educación y Pedagogía*, 15-65.
- Pérez, F., Estrada, S., & Briones, F. (s.f.). *El espectro electromagnético. Los efectos de la radiación no ionizante y como prevenirlos*. Recuperado el 13 de Junio de 2024, de <https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/el-espectro-electromagnetico-los-efectos-de-la-radiacion-no-ionizante-y-como-prevenirlos/>
- Petit, M. F., & Solbes, J. (2016). El cine de ciencia ficción en las clases de ciencias de enseñanza secundaria (II). Análisis de películas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 176-191.
- Reyes, H., & Tellez, O. (2022). Laboratorio Virtual como herramienta para potenciar las competencias de Física en estudiantes de Bachillerato. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 145-165.
- Romanos, I. (2014). *Errores conceptuales en Física en alumnos de E.S.O. y Bachillerato. Propuestas de resolución*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad Pública de Navarra]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/2454/14503>
- Salas, M. I. (2010). La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas. *Revista Electrónica Educare*, 131-142.

- Sarthaks. (s.f.). Recuperado el 3 de Junio de 2024, de <https://www.sarthaks.com/494526/draw-equipotential-surfaces-electric-dipole-locate-points-where-potential-dipole-zero>
- Scott, P. (2009). Teaching physics concepts: a neglected art? *GIREP-EPEC & PHEC International Conference*, (págs. 16-38). Leicester.
- Slisko. (2009). Repeated errors in physics textbooks: What do they say about the culture of teaching? *GIREP-EPEC & PHEC International Conference*, (págs. 31-46). Leicester.
- Slisko, J. (2005). Errores en los libros de texto de física: ¿cuáles son y por qué persisten tanto tiempo? *Revista Electrónica Sinéctica*, 13-23.
- Slisko, J. (2008). How can formulation of physics problems and exercises aid students in thinking about their results? *Latin-American Journal of Physics Education*, 137-142.
- Solbes, J. (2008). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2-20.
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II): nuevas perspectivas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 190-212.
- Solbes, J., & Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 151-162.
- Solbes, J., Montserrat, R., & Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 91-117.
- Start seeing magnetic fields. (s.f.). Recuperado el 16 de Abril de 2024, de <https://www.evilmadscientist.com/2010/start-seeing-magnetic-fields/>
- Study.com. (s.f.). Recuperado el 3 de Junio de 2024, de <https://homework.study.com/explanation/the-equipotential-lines-in-a-region-of-an-electric-field-are-shown-in-the-diagram-below-for-the-path-a-to-c-indicated-below-what-is-the-work-done-by-the-electric-field-in-moving-a-charge-q-plus-6-1-x-10-7-c-along-the>
- Superficies equipotenciales. (s.f.). Recuperado el 3 de Junio de 2024, de <https://www.geeksforgeeks.org/equipotential-surfaces/>
- Valverde, D., & González, J. (2024). Percepciones de estudiantes de Educación Secundaria sobre YouTube como fuente de información para Física y Química. *Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 189-208.
- Venturini, A., & Lascours, J. (2001). Electromagnetic Concepts in Mathematical Representation of Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 197-203.
- Weil, A. (2001). Los constructivismos y la didáctica de las ciencias. *Perspectivas*, 197-207.

Zajkov, O., Gegovska, S., & Mitrevski, B. (2016). Textbook-Caused Misconceptions, Inconsistencies, and Experimental Safety Risks of a Grade 8 Physics Textbooks. *International Journal of Science and Mathematics Education*.

Zuza, K., Almodí, J. M., & Guisasola, J. (2012). Revisión de la investigación acerca de las ideas de los estudiantes sobre la interpretación de los fenómenos de inducción electromagnética. *Enseñanza de las Ciencias*, 175-196.

8. Anexos

Anexo I

Mapa de vinculación de los objetivos con los descriptores operativos: relación entre los objetivos de etapa y las competencias clave a través de los descriptores operativos.

	CCL					CP			STEM					CD					CPSAA					CC				CE			CCEC										
	CCL 1	CCL 2	CCL 3	CCL 4	CCL 5	CP 1	CP 2	CP 3	STEM 1	STEM 2	STEM 3	STEM 4	STEM 5	CD 1	CD 2	CD 3	CD 4	CD 5	CPSAA 1.1	CPSAA 1.2	CPSAA 2	CPSAA 3.1	CPSAA 3.2	CPSAA 4	CPSAA 5	CC 1	CC 2	CC 3	CC 4	CE 1	CE 2	CE 3	CCEC 1	CCEC 2	CCEC 3.1	CCEC 3.2	CCEC 4.1	CCEC 4.2			
<i>Ejercer la ciudadanía democrática, desde una perspectiva global, y adquirir una conciencia cívica responsable, inspirada por los valores de la Constitución Española, así como por los derechos humanos, que fomente la corresponsabilidad en la construcción de una sociedad justa y equitativa.</i>	✓				✓			✓									✓		✓		✓					✓	✓	✓		✓			✓		✓						
<i>Consolidar una madurez personal, afectivo-sexual y social que les permita actuar de forma respetuosa, responsable y autónoma y desarrollar su espíritu crítico. Prever, detectar y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales, así como las posibles situaciones de violencia.</i>					✓			✓									✓		✓	✓	✓					✓	✓	✓		✓				✓							
<i>Fomentar la igualdad efectiva de derechos y oportunidades de mujeres y hombres, analizar y valorar críticamente las desigualdades existentes, así como el reconocimiento y enseñanza del papel de las mujeres en la historia e impulsar la igualdad real y la no discriminación por razón de nacimiento, sexo, origen racial o étnico, discapacidad, edad, enfermedad, religión o creencias, orientación sexual o identidad de género o cualquier otra condición o circunstancia personal o social.</i>	✓				✓																✓	✓	✓			✓	✓	✓							✓						
<i>Afianzar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, como condiciones necesarias para el eficaz aprovechamiento del aprendizaje, y como medio de desarrollo personal.</i>			✓	✓												✓		✓	✓								✓			✓		✓									
<i>Dominar, tanto en su expresión oral como escrita, la lengua castellana y, en su caso, la lengua cooficial de su comunidad autónoma.</i>	✓		✓		✓							✓																													
<i>Expresarse con fluidez y corrección en una o más lenguas extranjeras</i>						✓	✓	✓				✓																													

Anexo II

Mapa de relaciones competenciales en Física de 2º de Bachillerato: relación entre las competencias específicas y las competencias clave a través de los descriptores operativos.

Física

	CCL					CP			STEM					CD					CPSAA					CC				CE			CCEC								
	CCL1	CCL2	CCL3	CCL4	CCL5	CP1	CP2	CP3	STEM1	STEM2	STEM3	STEM4	STEM5	CD1	CD2	CD3	CD4	CD5	CPSAA1.1	CPSAA1.2	CPSAA2	CPSAA3.1	CPSAA3.2	CPSAA4	CPSAA5	CC1	CC2	CC3	CC4	CE1	CE2	CE3	CCEC1	CCEC2	CCEC3.1	CCEC3.2	CCEC4.1	CCEC4.2	
Competencia Específica 1									✓	✓	✓							✓																					
Competencia Específica 2										✓			✓								✓								✓										
Competencia Específica 3	✓	✓			✓				✓			✓				✓																							
Competencia Específica 4			✓			✓					✓		✓	✓	✓	✓								✓															
Competencia Específica 5	✓								✓			✓											✓					✓			✓								
Competencia Específica 6										✓			✓											✓					✓										

Anexo III

Respuesta de ChatGPT a un problema de electromagnetismo de 2º de Bachillerato.

1.- Un electrón penetra con una velocidad inicial horizontal $v_0 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1}$ en una región en la que hay un campo eléctrico uniforme $E = 150 \text{ N C}^{-1}$ perpendicular a la trayectoria de entrada del electrón y creado por dos placas metálicas. Determina:

- La aceleración del electrón en la región del campo eléctrico.
- La ecuación de la trayectoria que sigue el electrón.
- La velocidad del electrón al salir del campo eléctrico y el aumento de su energía cinética teniendo en cuenta que la longitud de las placas es de 15cm.



Para resolver este problema, utilizaremos las leyes fundamentales de la electrostática y la cinemática.

a) La aceleración del electrón en la región del campo eléctrico se puede calcular utilizando la fuerza eléctrica que actúa sobre él. La fuerza eléctrica F en una carga q dentro de un campo eléctrico E es $F = q \cdot E$. Como el electrón tiene carga negativa, su aceleración a será opuesta a la dirección del campo eléctrico y se puede calcular utilizando la segunda ley de Newton: $F = m \cdot a$, donde m es la masa del electrón.

Dado que la fuerza eléctrica es $F = q \cdot E$ y q es la carga del electrón ($q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) y m es la masa del electrón ($m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$), podemos calcular la aceleración a :

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q \cdot E}{m}$$

$$a = \frac{-1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 150 \text{ N/C}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}}$$

$$a \approx -2.64 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$$

La aceleración es negativa porque el campo eléctrico y la fuerza eléctrica actúan en direcciones opuestas al movimiento del electrón.

b) Para determinar la ecuación de la trayectoria que sigue el electrón, podemos usar las ecuaciones de movimiento bajo aceleración constante. Dado que el campo eléctrico es perpendicular a la velocidad inicial del electrón, la aceleración no cambiará la magnitud de la velocidad del electrón, solo su dirección.

Como la aceleración es constante, podemos usar la ecuación de movimiento en una dimensión:

$$v = v_0 + at$$

Dado que la velocidad inicial v_0 es horizontal y la aceleración a es vertical, la velocidad final v del electrón al salir del campo eléctrico también será horizontal. Además, la magnitud de la velocidad no cambiará. Por lo tanto, la ecuación de la trayectoria del electrón será una línea recta horizontal.

c) La velocidad del electrón al salir del campo eléctrico será igual a su velocidad inicial v_0 porque la aceleración solo cambia la dirección de la velocidad pero no su magnitud. Por lo tanto, $v = v_0 = 2.5 \times 10^6$ m/s.

El aumento en la energía cinética del electrón se puede calcular utilizando la ecuación:

$$\Delta K = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2)$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})((2.5 \times 10^6 \text{ m/s})^2 - (2.5 \times 10^6 \text{ m/s})^2)$$

$$\Delta K \approx 0$$

El aumento en la energía cinética del electrón es aproximadamente cero, ya que su velocidad no cambia mientras atraviesa el campo eléctrico.

Explicación detallada de los fallos cometidos por ChatGPT:

En el apartado a, falla al calcular el valor de la aceleración por un orden de magnitud (el exponente debería ser 13) y justifica el signo de la aceleración diciendo que el sentido de la fuerza es opuesto al movimiento del electrón. Si bien esto es cierto para el campo eléctrico por ser una carga negativa, la fuerza eléctrica y la aceleración tienen el mismo sentido como se puede deducir de la fórmula $\vec{F} = m \vec{a}$, donde la masa m es positiva.

En el apartado b, comete el error de suponer que el campo eléctrico no modifica la velocidad **total** del electrón por ser perpendicular a la velocidad inicial. De hecho, afirma que lo que se modificará será la dirección, lo que recuerda al comportamiento de un electrón que se desplaza perpendicularmente a un campo magnético. Es sencillo ver, pues, que ChatGPT en estos casos confunde el campo eléctrico con el magnético y supone, por tanto, que la aceleración solo presenta componente normal y no componente tangencial.

Debido a esta suposición, ChatGPT llega a la conclusión que el módulo de la velocidad no se verá modificado y además que el electrón continuará desplazándose horizontalmente, lo cual contradice la premisa del cambio de dirección por la aceleración del electrón.

En el apartado c, parte de la premisa errónea de que la velocidad del electrón no se ve modificada por el campo eléctrico. Por ello, la variación de la energía cinética tendría que ser nula. Sin embargo, ChatGPT considera que es aproximadamente cero a pesar de realizar una resta de dos números iguales.

Anexo IV

Guía para el profesor para la línea temporal y las aplicaciones de la actividad 2.

De magnete (1269)

Si bien los imanes son conocidos desde muchos siglos atrás por el descubrimiento de la magnetita, así como su interacción con otros imanes y algunos metales como el hierro, los campos magnéticos fueron totalmente desconocidos durante un largo periodo de tiempo. En 1269, Petrus Peregrinus de Maricourt escribió el primer tratado sobre las propiedades magnéticas de los imanes justificando sus propiedades experimentalmente (Minecan, 2017), (Magnetic field, s.f.). Este tratado recoge un método que permite dibujar las líneas de campo magnético redondeando un imán y colocando una aguja en diferentes puntos cerca del imán. De esta forma halla dos puntos donde todas las líneas trazadas convergen en los correspondientes polos del imán.

Ley de Coulomb (1784)

En 1784, de acuerdo con la visión Newtoniana predominante en el siglo XVIII, Coulomb describió la interacción entre dos cargas como una fuerza a distancia al igual que la gravitatoria que depende del producto de las cargas y disminuye con el cuadrado de la distancia entre estas. (History of electromagnetic theory, s.f.) Sin embargo, Newton sabía que el concepto de fuerza a distancia tenía un problema que radicaba en no ser capaz de hallar un mecanismo que explicase la acción de las fuerzas a distancia en el vacío, a diferencia de las fuerzas por contacto que sí se comprendían en su totalidad. Considerando este problema, se proponen dos soluciones:

- ◆ Las fuerzas a distancia son parte de la naturaleza y, por consecuencia, no requieren explicación.
- ◆ En el universo, existe un tipo de materia comúnmente denominada éter que por contacto entre sus partes transmite la fuerza “a distancia”.

La teoría del éter contaba con el punto positivo de ser capaz de explicar fuerzas a distancia atractivas o también repulsivas como la gravitatoria o la de Coulomb respectivamente. No obstante, el éter estaba limitado a este tipo de fuerzas y no era capaz de justificar el hecho de que una fuerza pudiera provocar giros. Así surge la necesidad del concepto de campo. (Electromagnetism and fields, s.f.)

Corrientes como imanes (1820)

Hasta el siglo XIX, la electricidad y el magnetismo eran dos campos de estudio totalmente independientes. En 1820, Oersted gracias a su inesperado descubrimiento se convirtió en el precursor de la que sería una de las grandes ramas de la física, el electromagnetismo. Específicamente, Oersted observó que el paso de una corriente eléctrica por un cable es capaz de desviar la aguja de una brújula y, por lo tanto, de interactuar con imanes. En este mismo año, Ampère demostró que las corrientes eléctricas se comportan como los imanes y que sufren

fuerzas atractivas o repulsivas a través de interacciones electromagnéticas. (History of electromagnetic theory, s.f.)

Motor eléctrico (1821)

En 1821, Faraday llevó a cabo el experimento en el cual creó el primer motor eléctrico y que apoyaría su eventual rechazo del concepto de éter como medio de transmisión de las fuerzas a distancia. Este experimento consistió en un circuito formado por un alambre colgado de una barra conductora por uno de sus extremos, de manera que el alambre tuviera libertad de movimiento. El otro extremo del alambre quedaba en contacto con un líquido conductor como el mercurio que se encontraba en un recipiente en cuyo fondo se fijaba un imán. El circuito quedaba cerrado al establecer una diferencia de potencial entre la barra conductora y el mercurio con una batería tal y como se muestra en la figura 28. Esta disposición provocaba que el campo magnético del imán interactuase con la corriente que circulaba por el alambre provocando que este girase.

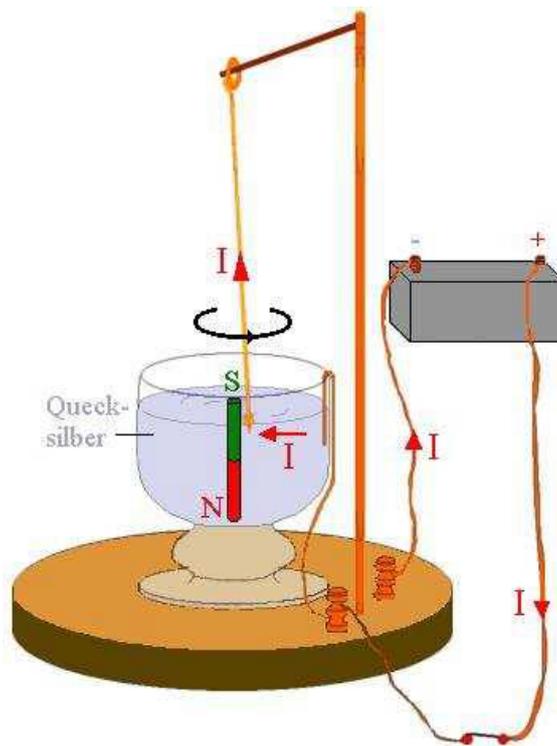


Figura 28: Motor de Faraday. Dispositivo experimental y funcionamiento. Extraído de (Brauer, Ziolkowski, Porzig, & Toepfer, 2011)

A su vez, Faraday realizó el mismo experimento manteniendo el alambre en reposo y fijando el imán al fondo del vaso de manera que se observase la rotación del imán alrededor del alambre. Este experimento sirvió como apoyo a los resultados obtenidos por Oersted y Ampère, al demostrar que una corriente eléctrica generaba un campo magnético circular que hacía girar el imán y, simultáneamente, manifestó la necesidad del concepto de campo magnético para explicar estas interacciones. (Brauer, Ziolkowski, Porzig, & Toepfer, 2011)

Inducción electromagnética (1831)

De los muchos experimentos que llevó a cabo Faraday, en 1831 realizó uno de los más relevantes de su carrera experimental. Hizo uso de dos circuitos eléctricos aislados entre sí, el circuito primario disponía de una batería encargada de generar una corriente eléctrica en este circuito, mientras que en el circuito secundario se hallaba un galvanómetro para medir la corriente inducida en el circuito, debido al campo magnético generado por la corriente del primer circuito. Faraday descubrió que la inducción de corriente en el circuito secundario tenía lugar al variar la intensidad de la corriente del circuito primario o al desplazar el circuito primario al igual que ocurría al mover un imán. (History of electromagnetic theory, s.f.) Este experimento supuso un punto de inflexión en el conocimiento de la inducción electromagnética e impulsó la inclinación de Faraday hacia el concepto de campo.

Tras varios experimentos, en el año 1852 Faraday realizó una descripción del campo magnético en su *paper* "On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force". En este documento describió las características de las que denominó inicialmente líneas de fuerza magnética basándose en el patrón dibujado por las virutas de hierro cerca de los imanes y en los resultados de sus experimentos. Además, enunció la necesidad de una demostración de la finitud del tiempo de propagación de las perturbaciones en el campo para justificar el carácter físico de estas líneas de campo. (Faraday, 1852)

Ondas electromagnéticas (1864)

A Maxwell se le considera como uno de los padres del electromagnetismo junto con Faraday. En 1864, Maxwell simplificó el trabajo presentado por Faraday y presentó la relación entre la electricidad y el magnetismo a través de un sistema de ecuaciones en su trabajo "On Faraday's lines of force". Unos años más tarde, Maxwell demostró que la velocidad de propagación del campo electromagnético coincidía con la velocidad de la luz y gracias a sus ecuaciones logró confirmar la existencia de ondas electromagnéticas y describirlas campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo. Los resultados que obtuvo quedaron recogidos en su *paper* "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field". (History of electromagnetic theory, s.f.) Aunque Maxwell no se desprendió de la teoría del éter, este resultado no se podría haber explicado mediante el concepto de fuerza a distancia al no ser un caso estático.

Aplicaciones

Finalmente, los trabajos de Maxwell llevaron a Hertz a demostrar la existencia de las ondas electromagnéticas experimentalmente. Gracias a todos los descubrimientos y avances que desembocaron en el nacimiento del electromagnetismo y la generación de las ondas electromagnéticas, en la actualidad, existen multitud de aplicaciones que funcionan gracias a campos electromagnéticos y cabe mencionar algunos ejemplos (Jin, 2023):

- ◆ **RADAR:** El radar se basa en el efecto Doppler que sufren las ondas para medir con gran precisión la velocidad a la que viajan los objetos. Este instrumento emite ondas electromagnéticas, cuya frecuencia es conocida, que se reflejan en objetos capaces de reflejar esas ondas y estas experimentan una variación en su frecuencia. De esta manera,

al regresar al radar esta variación permite conocer la velocidad a la que se desplazan los objetos y discernir si estos se acercan o alejan.

- ◆ Horno microondas: Este aparato genera ondas electromagnéticas de frecuencia del orden de GHz a partir de energía eléctrica mediante un magnetrón. Las moléculas de agua de los alimentos están formadas por átomos de hidrógeno y oxígeno cargados, lo que les permite interactuar con el campo electromagnético de las ondas. Al variar estas frecuencias tan altas, las moléculas rotan generando fricción interna y como consecuencia se produce el calentamiento de los alimentos.
- ◆ Cámara térmica: Este tipo de cámaras son capaces de detectar, medir y mostrar la temperatura de las superficies de objetos a partir de la radiación infrarroja que estos emiten. Si la temperatura de un cuerpo u objeto es mayor a 0 K, este emitirá ondas electromagnéticas infrarrojas no detectables para el ojo humano, pero sí por la cámara térmica. La cámara se encarga de “traducir” esas ondas electromagnéticas a su temperatura correspondiente y las muestra como una imagen cuyos colores equivalen a la temperatura determinada por una escala. Estos dispositivos son de utilidad para usos militares o como termómetros a distancia (utilizados especialmente durante la pandemia del COVID-19), entre otros.
- ◆ Radiología: En medicina, la radiación de alta energía tiene diferentes usos. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia como los rayos X permiten observar el interior del cuerpo humano sin necesidad de recurrir a procedimientos invasivos. En concreto, los huesos absorben con mayor facilidad los rayos X frente a otros tejidos como los músculos lo que permite que sean visibles en las radiografías. Además, otras ondas electromagnéticas más energéticas que los rayos X como los rayos gamma, se utilizan para el tratamiento de tumores cerebrales.

Anexo V

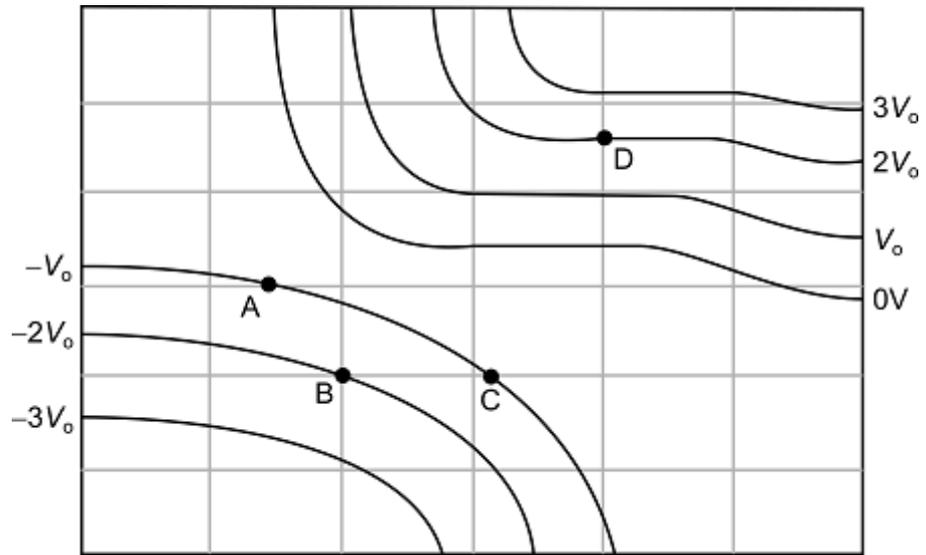


Figura 29: Mapa líneas equipotenciales. Extraído de (*Study.com, s.f.*)