

## **CAPÍTULO 4. OPERATIVIZACIÓN DE LA PRIMERA HIPÓTESIS Y DISEÑOS EXPERIMENTALES CORRESPONDIENTES**

De acuerdo con la primera hipótesis de este trabajo, que acabamos de fundamentar en el capítulo anterior, en la enseñanza del Campo Magnético Estacionario, que habitualmente se realiza, no se tienen en cuenta las principales características de la metodología científica, ni se aprovechan la Historia y Epistemología de la Ciencia al objeto de detectar posibles problemas epistemológicos que puedan presentarse a los estudiantes en su proceso de aprendizaje, ni tan siquiera para fundamentar una mejor selección y secuenciación de los contenidos de dicho tema.

A continuación, vamos a exponer el diseño elaborado para contrastar la primera hipótesis. Comenzaremos por operativizar dicha hipótesis, para pasar, más tarde, a exponer una visión global del diseño. Después se presenta con más detalle cada uno de los diseños particulares que se han confeccionado para contrastarla, así como cada uno de los instrumentos en que se han concretado los diseños aludidos.

### **4.1 Operativización de la hipótesis**

La operativización de la primera hipótesis implica la enumeración y análisis de diversos aspectos implicados en el proceso de enseñanza-aprendizaje habitual del magnetismo. Este análisis se ha dirigido hacia los dos aspectos principales del proceso; por un lado, hacia la enseñanza que se imparte, y que tiene como grandes protagonistas al profesorado y a los libros de texto, y por otro, al aprendizaje logrado por los estudiantes.

La primera hipótesis de nuestro trabajo ha de tener, por fuerza, un elemento esencial de contrastación en el análisis de la presentación didáctica del Campo Magnético Estacionario en los libros de texto universitarios, con el fin de apreciar si existen graves deficiencias epistemológicas y didácticas que dificulten un aprendizaje significativo del tema.

Además, cualquier análisis de la enseñanza habitual del Campo Magnético Estacionario debe prestar especial atención a las concepciones que el profesorado tiene acerca del proceso de enseñanza de ese área de la Física.

Una vez realizada esa primera investigación, respecto de los dos agentes que deciden sobre los contenidos a impartir y la forma de hacerlo (la comunidad educativa), el análisis de la enseñanza habitual del Campo Magnético Estacionario quedaría incompleto si no se evaluara el aprendizaje logrado por los estudiantes con dicha enseñanza. Suponemos que una transmisión verbal de los conocimientos elaborados no facilitará la superación de ideas alternativas en los estudiantes, ni ayudará a eliminar las dificultades de aprendizaje, las cuales será imprescindible detectar a través de los diseños adecuados, como más adelante se verá en este trabajo.

En concreto, la hipótesis afirma que la enseñanza habitual del Campo Magnético Estacionario adolece de serias deficiencias epistemológicas y didácticas que no favorecen un aprendizaje significativo por parte de los estudiantes. La operativización de esta hipótesis principal va a permitir deducir, a su vez, hipótesis derivadas de las que se extraerán, más adelante, consecuencias contrastables directamente. Las hipótesis derivadas de la primera hipótesis de este trabajo son las siguientes:

**A.** La presentación didáctica del Campo Magnético Estacionario, (desde la introducción de sus fuentes, hasta sus aplicaciones, pasando por las leyes fundamentales que lo caracterizan), en la enseñanza habitual presenta visiones distorsionadas en relación con la construcción de la Ciencia y del trabajo científico.

**B.** La enseñanza habitual del Campo Magnético Estacionario no tiene en cuenta los resultados de la investigación didáctica respecto al aprendizaje de las Ciencias, y por tanto, presenta graves deficiencias didácticas.

**C.** Como consecuencia de lo anterior, los estudiantes del primer ciclo de Universidad tendrán concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje, alguna de las cuales se asemejarán a las que se presentaron en la construcción del magnetismo como ciencia.

◆ Si fuera cierto lo que se afirma en la primera derivación (A), entonces la organización y secuenciación de contenidos de los libros de texto y de las planificaciones elaboradas por los profesores presentarán graves carencias epistemológicas que se concretan en:

A.1. Una *visión aproblemática* del Campo Magnético Estacionario caracterizada por la ausencia de dificultades y problemas en su presentación a los estudiantes, que justifiquen la introducción de conceptos, realizándose ésta de forma arbitraria.

A.2. Una *presentación acumulativa lineal* de los contenidos caracterizada por una exposición lineal de los conceptos que componen el modelo teórico actual del magnetismo, de forma que no tiene en cuenta los saltos cualitativos, ni las reformulaciones conceptuales profundas que se realizaron al introducir nuevos conceptos de mayor poder explicativo.

A.3. Una *visión excesivamente analítica* que transmite conocimientos analizados autónomamente, olvidando las conexiones con otros, y los esfuerzos de unificación en un cuerpo coherente de conocimientos cada vez más amplio, propio de las construcciones científicas.

A.4. Una *visión acrítica* de la Ciencia caracterizada por la omisión, en muchos casos, de la valoración del grado de validez de conceptos y leyes que, en consecuencia, son vistas por los aprendices como “recetas mágicas” utilizables en cualquier circunstancia.

A.5. Una *falta de conocimiento del cambio ontológico* que se produjo en el desarrollo de la teoría del magnetismo al pasar de unos modelos a otros. En concreto el cambio ontológico que se produjo al pasar de una “visión newtoniana” a otra de “teoría de campo” y que puede llevar a considerar esta última teoría como muy “abstracta” y vacía de contenido físico.

◆ De acuerdo con la segunda derivación (B), las estrategias de enseñanza que presentan los libros de texto y las planificaciones de los profesores de Física para introducir los conceptos (derivadas de una enseñanza de transmisión verbal de los conocimientos científicos ya construidos) tienen carencias que se manifiestan en:

B.1. No tener en cuenta las posibles concepciones alternativas de los estudiantes sobre los conceptos más importantes del Campo Magnético Estacionario lo que da lugar a una *presentación simplista* de la Ciencia, de forma que considera que las teorías son sencillas y fáciles de aprender. Como consecuencia se obvian aquellos aspectos de carácter ontológico de las diversas teorías que permiten dar una idea cualitativa, y con contenido físico, del modelo a estudiar.

B.2. *Presentación* básicamente *operativista* de los conceptos y problemas que se analizan a lo largo del desarrollo del tema, donde, en consecuencia, no se explicita un tratamiento cualitativo de aquéllos.

B.3. No tomar en consideración que los estudiantes, además de las dificultades conceptuales, presentan dificultades procedimentales (razonamiento de “sentido común”, causalidad simple, fijaciones y reducciones funcionales...etc.), derivadas de la no utilización de los aspectos fundamentales de la metodología científica (planteamiento cualitativo del problema, emisión de hipótesis, diseño y realización de experimentos, análisis de resultados...), que coadyuvan a un aprendizaje memorístico de los conceptos. Así pues, no se familiarizará al estudiante con aspectos fundamentales de la metodología científica como los acabados de mencionar.

B.4. No prestar atención a aquellos aspectos motivacionales (interacción C/T/S) que permitan despertar el interés hacia esta temática, y caracterizándose, por lo tanto, por una *presentación socialmente descontextualizada* de la Ciencia.

B.5. Atención exclusiva a los contenidos de tipo conceptual, olvidando los contenidos procedimentales y actitudinales y, por tanto, se evaluarán fundamentalmente objetivos de tipo conceptual.

◆ Para finalizar este análisis de la enseñanza habitual del Campo Magnético Estacionario en el primer ciclo de la Universidad, y de acuerdo con la tercera hipótesis derivada (C), se intenta contrastar que los estudiantes van a encontrar serias dificultades en la comprensión de los conceptos básicos del Campo Magnético Estacionario. En particular se persigue contrastar las siguientes consecuencias:

C.1. Los estudiantes no identificarán correctamente las fuentes del Campo Magnético Estacionario

C.2. Así mismo la gran mayoría de los estudiantes reconoce que el imán es fuente del Campo Magnético, pero no sabrán justificarlo de forma coherente con el marco teórico de la Física, (no relacionan el imán con el movimiento de cargas, a nivel microscópico, en su interior, llegando por lo menos al modelo de Ampère).

C.3. Si es cierto que no saben explicar por qué el imán crea un Campo Magnético, no establecerán una relación de equivalencia, en el ámbito del electromagnetismo, entre una espira de corriente y un imán. Es decir, los estudiantes no vincularán entre sí los campos magnéticos de espiras de corrientes e imanes.

C.4. Al no establecer con precisión las fuentes del Campo Magnético Estacionario, no reconocerán que dicho campo actúa sólo sobre su fuente. Por lo tanto no comprenderán que el campo magnético sólo actúa sobre cargas en movimiento.

C.5. Los estudiantes confundirán entre sí las causas (campo) y los efectos (fuerza) de un Campo Magnético Estacionario.

C.6. Los estudiantes no comprenderán las diferencias entre Campo Eléctrico Estacionario y Campo Magnético Estacionario, fundamentalmente en lo que se refiere a sus efectos. Así por ejemplo, atribuirán efectos eléctricos a un Campo Magnético Estacionario.

C.7. A diferencia de los campos gravitatorio y electrostático, que dependen exclusivamente de la masa y de la carga de los cuerpos respectivamente, el campo magnético, además, depende del sistema de referencia elegido, a través de la velocidad de las cargas que crean ese campo. En relación con lo anterior, los estudiantes no tendrán en cuenta la dependencia de un Campo Magnético Estacionario con el ya citado sistema de referencia.

C.8. Los estudiantes encontrarán dificultades a la hora de establecer una relación cuantitativa entre el comportamiento del campo magnético a lo largo de una trayectoria cerrada y la cantidad de corriente, (fuente de dicho campo), que atraviesa la región limitada por la citada trayectoria.

Por otro lado, los problemas epistemológicos que tuvo que superar la Ciencia para llegar a construir la teoría del Campo Magnético Estacionario que hoy conocemos, implican una síntesis de conocimientos, y en ocasiones un cambio ontológico que podría permitir explicar las grandes dificultades que tienen los estudiantes en estas teorías; en concreto se encontrará que:

C.9. Los problemas históricos, (diferentes modelos de explicar el Magnetismo a lo largo de la Historia, con todo lo que ello conlleva), pueden ayudar a comprender algunos de los principales obstáculos encontrados en los estudiantes.

C.10. Se encontrarán opiniones o ideas explicativas de los estudiantes que no fueron asumidas por la comunidad científica.

C.11. La existencia de las dificultades conceptuales indicadas anteriormente irán acompañadas de nuevas dificultades procedimentales, dado que no se ha familiarizado a los estudiantes con la metodología científica.

Las 21 consecuencias contrastables que hemos derivado de la primera hipótesis, se refieren a aspectos fuertemente interrelacionados y, por tanto, susceptibles de ser estudiados, tanto por separado como de forma agrupada; por lo tanto, para algunas consecuencias se han realizado cuestionarios y estadillos individuales, mientras que para otras se ha creído más adecuado realizar un diseño común.

#### **4.2. Visión general del diseño**

En los próximos apartados se comprobará que hemos planteado la comprobación de las deficiencias epistemológicas y didácticas de la enseñanza habitual del Campo Magnético Estacionario, mediante un diseño experimental, múltiple y convergente, ya

que el proceso de enseñanza-aprendizaje es tan complejo que el trabajar con un único método produce datos limitados y a veces engañosos (Cohen y Manion 1990).

En la mayoría de las investigaciones educativas no es necesario utilizar grandes muestras (Larkin y Rainard 1984), siendo preferible lograr grandes diferencias estadísticas entre las muestras, de acuerdo con la hipótesis a contrastar, y a ser posible, de maneras muy distintas experimentalmente. En consecuencia, en el diseño elaborado se ha buscado contrastar la hipótesis principal mediante el control de múltiples predicciones derivadas, lo que permite disponer de criterios razonablemente objetivos sobre la validez de la hipótesis, ya que la coherencia de los resultados obtenidos con las más diversas estrategias puede interpretarse como indicadora de la validez interna de las mismas.

Para la contrastación de las diferentes consecuencias derivadas se han utilizado métodos cuantitativos: *cuestionarios* en los que se plantean ítems que han de ser valorados numéricamente por el entrevistado. También se han utilizado técnicas semicuantitativas como *estadillos* para el análisis de respuestas escritas o de libros de texto o de cuestionarios de preguntas abiertas a los estudiantes con énfasis en la explicación. También técnicas cualitativas como *entrevistas grabadas* a estudiantes y profesores.

Al elaborar los cuestionarios se ha tenido en cuenta los requisitos explicitados en la investigación didáctica. Entre ellos destacamos, en primer lugar, que se empezaba por la realización de sondeos a estudiantes para analizar “la dificultad de comprensión lectora” con el fin de mejorar la relación entre el objetivo del ítem y su enunciado. En segundo lugar, las preguntas han sido validadas, respecto a su contenido, mediante el “juicio de expertos”, (los cuales han sido otros profesores e investigadores), de modo que dicho contenido responda a los objetivos que se persiguen.

El análisis de las entrevistas, cuestionarios de preguntas abiertas y libros de texto, han sido realizados por el autor de este trabajo y, al menos, otro investigador, habiendo sido prácticamente total el grado de coincidencia entre los investigadores, una vez que se ha analizado y puesto en común el estadillo de corrección.

Los diversos instrumentos: cuestionarios, estadillos, etc., que se elaboraron para realizar la contrastaciones de las consecuencias ya enunciadas y lo que, de acuerdo con la primera hipótesis de este trabajo, se esperaba comprobar con cada uno de ellos, se presentarán de manera general como *documentos*.

### **4.3. Diseños centrados en el análisis crítico de la enseñanza habitual**

Como hemos adelantado en apartados anteriores, (ver apartado 4.1), vamos, a continuación a presentar los diseños realizados para el análisis crítico de la enseñanza habitual, que constará de dos partes. En la primera se abordará el análisis de la organización y secuenciación del Campo Magnético Estacionario realizados por los libros de texto y por los profesores; en la segunda, se elaborará el análisis de las estrategias de enseñanza presentadas en los libros de texto, así como las utilizadas por el profesorado para desarrollar dicho tema.

#### **4.3.1. *Diseño para contrastar que la organización y secuenciación de contenidos del Campo Magnético estacionario en los libros de texto presenta visiones distorsionadas de la Ciencia.***

Para verificar estas predicciones hemos elaborado un estadillo, con el objetivo de realizar el análisis de los libros de texto. Previamente se elaboró un borrador que fue sometido a tres profesores expertos para su revisión.

El estadillo definitivo consta de seis ítems que **tratan aspectos epistemológicos** de la organización y secuenciación de los contenidos del tema aludido. El estadillo es el que se muestra a continuación, en forma de DOCUMENTO 1:

**DOCUMENTO 1. ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LIBROS DE TEXTO SOBRE LAS GRAVES CARENCIAS EPISTEMOLÓGICAS EN LA ORGANIZACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE LOS CONTENIDOS**

- 1) ¿Hay en el tema introductorio del campo magnético, y a lo largo del mismo, algún contenido explícito, de forma declarativa o interrogativa, relativo a la problemática que se va a abordar, (que pueda dar una concepción preliminar del problema que se va a estudiar)?..... SÍ/NO
- 2) ¿Se presentan situaciones problemáticas con objeto de hacer ver cuáles son las diferentes, en apariencia, fuentes del campo magnético estacionario?..... SÍ/NO
- 3) ¿Se presentan situaciones problemáticas en las que se pone de manifiesto la unicidad de las fuentes del Campo Magnético Estacionario (modelo amperiano)?.....SÍ/NO
- 4) ¿Se hace algún comentario histórico sobre el desarrollo de los conceptos básicos del campo magnético, considerando en particular, algunas de las diferentes explicaciones que se dieron a lo largo de la Historia del Magnetismo, como por ejemplo: su unificación con el campo eléctrico hasta el siglo XVII, su separación después, siglos XVII y XVIII, para posteriormente volver a su unificación, a partir del siglo XIX, hasta llegar al modelo actual?...En definitiva, ¿se pone de relieve el carácter dinámico del proceso de instrucción del conocimiento?..... SÍ/NO
- 5) Hay alguna conexión explícita, de cualquier tipo, (quizá haciendo especial hincapié en: a) analogías y sobre todo diferencias con el campo eléctrico, b) relacionar la unicidad de las fuentes del magnetismo con el estudio de la magnetización de la materia), entre la introducción del tema del campo magnético y algún capítulo anterior y/o posterior?..... SÍ/NO
- 6) ¿Se pone de manifiesto las posibles limitaciones de la validez de leyes y conceptos, (relatividad del campo magnético, ley de Biot y Savart, ley de Ampère, la equivalencia entre esas dos leyes, el modelo de Ampère de magnetización de la materia, etc.), que se proponen?.....SÍ/NO

**CRITERIOS DE VALORACIÓN DEL ESTADILLO**

El estadillo prevé la ausencia, en la organización y secuenciación de los contenidos en los libros de texto, de aspectos esenciales de la epistemología científica que fueron descritos en la fundamentación teórica de las hipótesis de este trabajo (capítulo 3º), y explicitadas más detalladamente en las consecuencias contrastables A.1., A.2., A.3., A.4. y A.5. A continuación presentamos los criterios que se han utilizado para corregir este estadillo.

- En el **ítem 1**, se valorará positivamente la presentación de problemas en forma interrogativa o declarativa, bien para resolverlos al estudiar el tema, bien para hacer ver la necesidad de introducir nuevos conceptos. En caso de una valoración negativa, se diagnosticará una **visión apromática** de la Ciencia.
- En el **ítem 2**, se valorará el número de situaciones problemáticas que se presenten, así como su diversidad, (como por ejemplo comentarios declarativos respecto a la necesidad de introducir nuevas fuentes para este campo y diferenciarlas de las del ámbito de la gravitación y electrostática). Este ítem es convergente con el anterior, y en caso de valoración negativa nos mostraría una **introducción arbitraria de los conceptos**.
- En el **ítem 3**, se valorará positivamente la realización de actividades encaminadas a establecer la unicidad de las dos fuentes del campo magnético estacionario conocidas (imanes y cargas en movimiento). Una valoración negativa de este ítem, que es convergente con la anterior, nos mostraría una **introducción arbitraria de los conceptos**.
- En el **ítem 4**, se tendrá en cuenta que la referencia histórica no sea sólo nominal (nombres de científicos, biografías...) sino que se haga referencia al contenido impartido. En ese sentido, se valorarían positivamente las explicaciones sobre las tres etapas, (como mínimo dos), enunciadas anteriormente (Aristóteles, Descartes, Gilbert, Coulomb, Oersted, Ampère, Faraday, Maxwell...), en el desarrollo histórico del magnetismo; en caso contrario se encontraría una **visión acumulativa** de la Ciencia.
- En el **ítem 5**, se valorará positivamente que en la presentación y/o a lo largo del tema del campo magnético se aborde una visión contextualizada del estudio a realizar, considerando los comentarios, explicaciones y proposiciones inquisitivas que muestren la relación entre lo anterior y posterior. La valoración negativa de este ítem significaría una visión compartimentada e inconexa que está sesgada en exceso hacia **una visión analítica** del trabajo científico, sin mostrar la profunda interrelación entre los conceptos.
- En el **ítem 6**, se valorará positivamente los comentarios que se hagan en los textos, así como los ejercicios diseñados al efecto, el grado de aplicabilidad de conceptos y leyes, de manera que no se conviertan en una “receta mágica” utilizable en cualquier circunstancia. Este ítem, en caso de ser valorado negativamente, implicaría una **visión acrtica** de la Ciencia.

**4.3.2. *Diseño para contrastar que la organización y secuenciación de contenidos del Campo Magnético estacionario que realizan los profesores de Física presentan visiones distorsionadas de la Ciencia y del trabajo científico***

La verificación de la primera derivación (A) de la hipótesis principal supone averiguar las concepciones del profesorado sobre el desarrollo del Magnetismo como Ciencia. Si nuestra hipótesis derivada es cierta, serán casi inexistentes, o en número poco significativo, las características básicas de la epistemología científica que los profesores incluyan en la organización y secuenciación de los contenidos (consecuencias A.1-A.5).

Para los diseños correspondientes se han utilizado dos tipos de pruebas:

a) La primera ha consistido en elaborar y pasar un cuestionario a profesores universitarios de la Universidad del País Vasco. La muestra ha sido de ocho profesores, pertenecientes a todos los cuerpos universitarios: Catedráticos de Universidad, Titulares de Universidad - Catedráticos de Escuela Universitaria y Titulares de Escuela Universitaria; todos ellos imparten el tema del magnetismo, ya sea dentro de la Física General de primer curso, ya como el Electromagnetismo en tercer curso. Además los centros donde imparten sus clases también han sido variados: Facultad de Ciencias (Físicas) (campus de Leioa), Facultad de Químicas (San Sebastian), Escuela Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación (Bilbao) y las cuatro Escuelas Universitarias de Ingeniería Técnica Industrial (Bilbao, San Sebastian, Vitoria y Eibar).

b) La segunda prueba ha consistido en entrevistas grabadas en audiotape a esos mismos profesores.

El objetivo del cuestionario ha consistido en averiguar cómo realizan los profesores la secuenciación de contenidos del Campo Magnético Estacionario. El cuestionario elaborado se muestra en el DOCUMENTO 2.

**DOCUMENTO 2. CUESTIONARIO PARA DETECTAR VISIONES DEFORMADAS DE LA CIENCIA EN LA ORGANIZACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE LOS CONTENIDOS DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO QUE REALIZAN LOS PROFESORES**

En relación con el proyecto de investigación que estamos realizando, sobre las dificultades que presenta el proceso de enseñanza-aprendizaje, en lo relativo al tema del Campo Magnético Estacionario, a nivel de primer curso universitario, y con el ánimo de intentar mejorar ese proceso, estamos recogiendo la opinión del profesorado, por lo que te agradeceríamos que contestases el siguiente cuestionario:

- 1) Comenta la secuencia de contenidos que realizas para el tema del Campo Magnético Estacionario. Es importante que justifiques la secuenciación que eliges.
- 2) Esta cuestión la vamos a desglosar en dos, a saber:
  - 2.1) ¿Cómo justificas las fuentes del Campo Magnético Estacionario?
  - 2.2) ¿Analizas la relación entre las leyes de Biot y Savart, por un lado, y la ley de Ampère por otro, así como su grado de aplicabilidad?
- 3) ¿Explicas de alguna forma, (ejemplos, problemas, teoría), el carácter relativo del Campo Magnético?
- 4) Indica cuál o cuáles han sido el/los marco/s teórico/s que has utilizado para desarrollar los contenidos del tema.

**ESTADILLO PARA ANALIZAR EL CUESTIONARIO**

Se ha utilizado como instrumento de análisis un estadillo que se refiere a las opiniones de los encuestados bajo los criterios que hemos definido las explicitar las visiones erróneas de las consecuencias: A.1-A.5.

- **Visión problemática** que no propone situaciones problemáticas que ayuden a comprender la necesidad y/o utilidad de introducir los nuevos conceptos.
- **Visión acumulativa** que no hace mención de las diferentes explicaciones y crisis que tuvieron lugar en la formación del Magnetismo como Ciencia, hasta llegar al modelo actual. En particular se organizará la secuenciación como un crecimiento lineal de los contenidos conceptuales.
- **Visión excesivamente analítica** que no relaciona los conceptos. En particular se valorará positivamente que se mencione la unicidad de las fuerzas magnéticas, así como la equivalencia de las leyes de Biot y Savart y Ampère. También el aspecto relacionado con la Mecánica relativista que tiene la expresión del campo magnético.

- **Visión acrítica** que no pone de manifiesto, (no de forma puntual, sino como norma de comportamiento), las limitaciones de la validez de leyes y conceptos.
- Carencia de conocimientos sobre las visiones ontológicas diferentes de los modelos newtonianos y de teoría de campos.

La segunda prueba, como ya se ha comentado, ha consistido en una entrevista grabada en audiotape. Los profesores entrevistados han cumplimentado, con carácter previo, el cuestionario mostrado anteriormente; sus respuestas han sido analizadas por el investigador antes de la entrevista. Durante la entrevista se comenta en más profundidad las respuestas que han dado, de acuerdo al guión que se muestra, a continuación, en el DOCUMENTO 3.

**DOCUMENTO 3. ENTREVISTA GRABADA EN AUDIOTAPE PARA CONTRASTAR QUE LA ORGANIZACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE CONTENIDOS DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO REALIZADA POR LOS PROFESORES PRESENTA VISIONES ERRÓNEAS DE LA CIENCIA.**

1) El profesor entrevistado comenta la secuenciación de contenidos que realiza del tema, de acuerdo con la respuesta que ha escrito en el cuestionario.

El entrevistador precisa algunos aspectos, que le interesan, con las siguientes preguntas:

1.1) ¿Haces alguna introducción para explicar los problemas que se van a tratar en el tema?

1.2) ¿Qué criterios utilizas para secuenciar el tema del Campo Magnético?

1.3) ¿Relacionas el tema con algún capítulo anterior y/o posterior?

1.4) ¿Haces algún comentario histórico?, ¿dónde?, ¿con qué sentido?

2) Con respecto a la segunda cuestión, el entrevistador propone las siguientes cuestiones complementarias:

2.1.1) ¿Analizas los imanes como fuentes del Campo Magnético Estacionario?, ¿hasta qué punto?

2.1.2) ¿Realizas actividades encaminadas a relacionar los imanes con las cargas en movimiento?, si es así...¿cuáles?

2.1.3) ¿Si lo haces, lo relacionas con el estudio de la magnetización de la materia?

2.2.1) ¿Haces una declaración explícita de la equivalencia entre las leyes de Biot y Savart y Ampère?

2.2.2) Cuando enseñas la ley de Ampère, ¿realizas actividades donde no se puede aplicar dicha ley para calcular campos magnéticos?

2.2.3) Cuando realizas actividades encaminadas a utilizar la ley de Ampère, ¿las haces con intensidades de corriente que están dentro y fuera de la línea amperiana elegida?

3) El profesor entrevistado explica hasta qué punto y con qué profundidad, si es que lo hace, comenta y reflexiona acerca del carácter relativista del campo magnético.

4) El entrevistador plantea una cuestión complementaria, respecto al marco teórico:

4.1) ¿Podrías relatar alguno de los diferentes saltos cualitativos teóricos que se han dado en el desarrollo del magnetismo?

El análisis cualitativo de las respuestas se ha hecho con el mismo estadillo que el correspondiente al DOCUMENTO 2.

#### **4.3.3. *Diseño para contrastar que la forma de introducir los conceptos básicos del Campo Magnético estacionario en los libros de texto presenta carencias didácticas***

Para verificar las consecuencias de la segunda derivación (B) se ha confeccionado un estadillo con el objetivo de diagnosticar diferentes aspectos didácticos en la presentación de los contenidos del tema, y así detectar si se manejan algunas de las características básicas del trabajo científico en la presentación didáctica de los conceptos y leyes fundamentales del Campo Magnético Estacionario.

Estas carencias, así como su utilización en el desarrollo de la unidad didáctica correspondiente, fueron expuestas en el capítulo de la fundamentación teórica de las hipótesis (capítulo 3º), al desarrollar el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada. El estadillo elaborado se muestra en el DOCUMENTO 4.

**DOCUMENTO 4. ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LIBROS DE TEXTO SOBRE LAS DEFICIENCIAS DIDÁCTICAS EN LA INTRODUCCIÓN DE LOS CONTENIDOS DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO**

- 1) ¿Hay alguna proposición inquisitiva o comentario declarativo que tenga en cuenta los comentarios previos y/o errores conceptuales de los estudiantes sobre los conceptos básicos del Campo Magnético (fuentes, relación entre ellas, relación cuantitativa entre el campo y sus fuentes, carácter relativista del mismo...).....SÍ/NO
- 2) ¿Se favorece el análisis cualitativo de las situaciones planteadas en los problemas antes de abordar la estrategia de resolución de las mismas?..... SÍ/NO
- 3) ¿Hay alguna actividad dirigida a los estudiantes, o al menos que se comente, que plantee la emisión de hipótesis susceptibles de orientar el tratamiento de las diferentes situaciones?.....SÍ/NO
- 4) Una vez resueltas las situaciones problemáticas de lápiz y papel...
  - 4.1) ¿Se realiza algún tipo de análisis del resultado obtenido?..... SÍ/NO
  - 4.2) Si la respuesta a 4.1) es afirmativa, ¿se realiza un proceso de “feed-back” con las hipótesis emitidas previamente para ver si están de acuerdo con ellas, así como con el cuerpo teórico?..... SÍ/NO
- 5) Una vez concluida la resolución de la situación problemática, ¿se analizan las limitaciones de la solución, que eventualmente darían origen a nuevas interrogantes que se analizarían en temas posteriores?..... SÍ/NO
- 6) ¿Hay algún comentario o reflexión sobre el interés de los problemas, a lo largo del tema del campo magnético estacionario, explicitando, en particular, las posibles implicaciones C/T/S?.....SÍ/NO

**CRITERIOS DE VALORACIÓN DEL ESTADILLO**

- En el **ítem 1**, se valorará aquellas cuestiones y/o comentarios que pretendan hacer explícitas las concepciones alternativas de los estudiantes, o al menos, las mencionen para tenerlas en cuenta. La valoración negativa de este ítem nos indicaría que no se tienen en cuenta las preconcepciones y/o ideas alternativas de los estudiantes, consecuencia de una **visión simplista** del aprendizaje.
- En el **ítem 2**, se valorará negativamente las **resoluciones puramente operativas** que no expliciten el tratamiento cualitativo de los problemas que aparecen en el desarrollo del tema o en los problemas resueltos que se indican como ejemplos.
- En el **ítem 3**, se valorarán todos los comentarios, reflexiones o cuestiones que hagan referencia a la **emisión de hipótesis** para empezar a resolver el problema..

- En el **ítem 4.1**, se valorará el número de veces que aparece el análisis de resultados. Por otra parte, en el **ítem 4.2**, se trata de constatar si se valora el análisis detenido de los resultados, de acuerdo con las hipótesis emitidas y el cuerpo teórico, como uno de los aspectos fundamentales de la metodología científica.
- En el **ítem 5**, se valorará positivamente el número de nuevos problemas que se presentan, así como que se expliciten las perspectivas del estudio realizado de forma que se favorezca una conexión con los temas que faltan y así contextualizarlo dentro de un cuerpo coherente de conocimientos.
- En el **ítem 6**, se valorarán positivamente todos los comentarios que motiven el estudio del campo magnético y fomenten actitudes positivas hacia el estudio del magnetismo, teniendo en cuenta el número de referencias a implicaciones técnicas, sociales o científicas que se realizan. También se tendrá en cuenta la diversidad de los problemas o comentarios presentados.

#### *4.3.4. Diseño para contrastar que las estrategias de enseñanza utilizadas por los profesores en la introducción de los principales conceptos del Campo Magnético estacionario tienen deficiencias didácticas*

Para verificar las consecuencias de la segunda derivación (B), en lo que al profesorado se refiere, se han hecho dos pruebas, (a los mismos profesores tratados en el apartado anterior). La primera ha consistido en pasarles una encuesta sobre las estrategias didácticas y forma de evaluación que utilizan habitualmente (DOCUMENTO 5) y la segunda radicó en una entrevista, grabada en audiotape, que versó sobre aspectos de la encuesta previa (DOCUMENTO 6).

#### **DOCUMENTO 5. CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR LAS DEFICIENCIAS DIDÁCTICAS EN LAS ESTRATEGIAS UTILIZADAS POR LOS PROFESORES EN EL TEMA DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO**

En relación con un proyecto de investigación que estamos llevando a cabo. sobre las dificultades que presenta el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema del Campo Magnético Estacionario, a nivel del primer curso universitario, te agradeceríamos que nos contestases al siguiente cuestionario.

1) Es bien conocido por los/as profesores/as las grandes dificultades que tienen los estudiantes cuando se aborda el tema del Campo Magnético, en lo referente a: fuentes del campo magnético, el carácter relativista de este campo, la aplicabilidad de la ley de Ampère, etc. En tu opinión ¿cuáles son las dificultades y a qué se deben?

- 2) ¿Cómo sueles introducir los nuevos conceptos?, concretamente en el caso del Campo Magnético: las fuentes del mismo, los campos creados por diferentes configuraciones, la ley de Ampère, etc.
- 3) Cuando resuelves problemas, ¿cómo lo haces?
- 4) Escribe tres o más cuestiones que te parezcan importantes para saber si los estudiantes han aprendido o no los contenidos más importantes del tema de Campo Magnético

### ESTADILLO PARA ANALIZAR EL CUESTIONARIO

Se ha utilizado como instrumento de análisis el estadillo anterior, que se refiere a las opiniones de los encuestados bajo los criterios que hemos definido al explicitar las visiones erróneas que también aparecían en el protocolo homólogo referente a los libros de texto y que eran:

- Tienen en cuenta las ideas de los estudiantes (como por ejemplo las preconcepciones de los estudiantes referentes a: comportamiento de un imán, unicidad de fuentes, Ley de Ampère, relatividad del campo, etc.) al analizar las dificultades de los mismos.
- Hacen referencia a que los estudiantes presentan dificultades procedimentales (razonamiento de “sentido común”, inversión causa-efecto, causalidad simple, etc.) que también actúan como verdaderas dificultades de aprendizaje.
- Hacen referencia a relaciones C/T/S que permiten despertar el interés hacia el Magnetismo y atender aspectos motivacionales de los estudiantes.
- Proponen o comentan explícitamente actividades que favorecen la familiarización con aspectos fundamentales de la metodología científica (tratamiento cualitativo de los problemas, emisión de hipótesis, diseño y realización de experimentos, análisis de resultados, contrastación de las hipótesis, aplicación de los resultados obtenidos en otros contextos, etc.).
- Hacen referencia a que existen dificultades de tipo ontológico derivadas de las diferentes visiones existentes del Magnetismo.
- Evalúan no sólo los aspectos conceptuales, sino también los procedimentales y actitudinales

Una vez analizadas las respuestas a este cuestionario, por parte del investigador, se paso a la segunda prueba consistente, como ya se ha dicho, en una entrevista grabada con cada profesor; el objetivo era comentar en profundidad las contestaciones que los profesores habían dado en el cuestionario escrito.

Obviamente el objetivo, tanto del cuestionario escrito como de la entrevista oral, era averiguar si las estrategias utilizadas por el profesorado se aproximan o no a aquellas que favorecen el aprendizaje significativo. El guión básico de la entrevista se refleja en el DOCUMENTO 6.

**DOCUMENTO 6. ENTREVISTA GRABADA EN AUDIOTAPE PARA CONTRASTAR QUE LAS ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y FORMA DE EVALUACIÓN TERMINAL QUE UTILIZAN LOS PROFESORES EN EL TEMA DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO PRESENTAN CARENCIAS DIDÁCTICAS**

1) El profesor entrevistado explica las dificultades que encuentra cuando explica los conceptos básicos del tema del Campo Magnético Estacionario, de acuerdo con lo que ha escrito previamente. El entrevistador precisa algunos puntos a través de las siguientes preguntas:

1.1) ¿Conoces o has leído algo sobre preconcepciones de los alumnos de este tema? y ¿sobre otros temas? ¿cuáles?

1.2) ¿Cuáles son en tu opinión las dificultades procedimentales, (razonamiento de “sentido común”, manejo de variables, gráficas, etc.), más importantes?

2) El profesor entrevistado explica cómo introduce los aspectos básicos del Campo Magnético Estacionario. El entrevistador le plantea las siguientes preguntas complementarias:

2.1) ¿Utilizas alguna metáfora o analogía para introducir esos conceptos?

2.2) ¿Haces ver la necesidad o en su caso la utilidad de introducir esos nuevos conceptos?

3) El entrevistado expone las estrategias que utiliza en las llamadas “clases de problemas”

4) El profesor entrevistado propone cuestiones que le parecen fundamentales para conocer si el estudiante conoce significativamente el tema de magnetismo. El entrevistador precisa algún aspecto con las siguientes cuestiones:

4.1) ¿Son cuestiones que has puesto o que estarías dispuesto a poner en algún examen?

4.2) En el supuesto que 4.1 haya sido respondido afirmativamente, ¿cuáles son los resultados que sueles obtener?

Para el análisis de las explicaciones de los profesores se utiliza el mismo estadillo que el correspondiente al DOCUMENTO 5.

#### **4.4. Diseños centrados en el aprendizaje logrado en la enseñanza habitual**

El objetivo de este apartado es analizar las ideas alternativas que persisten en el aprendizaje de los conceptos del Campo Magnético Estacionario en estudiantes del último curso de secundaria: 2° de BACHILLERATO, así como en el primer ciclo de Universidad: 1° de Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial (en adelante 1° de EUITI), 2° de EUITI y 3° de FÍSICAS (en total cuatro niveles distintos). Hemos elegido un diseño transversal, con muestras de estudiantes diferentes, que permita caracterizar y describir las ideas de éstos y los cambios que se producen en la instrucción. Esto se hará bajo dos perspectivas distintas:

a) En concordancia con el modelo de enseñanza definido en el capítulo 3° de este trabajo, es posible que los problemas de aprendizaje de los aspectos fundamentales del Campo Magnético Estacionario provengan más de la carencia en la familiarización y profundización en los métodos y contenidos científicos, que de la existencia de fuertes preconcepciones en los estudiantes (consecuencias C.1. a C.8.)

b) Por otra parte, y de acuerdo con las aportaciones de la Historia y la Epistemología de la Ciencia al campo de la Enseñanza, (analizadas en el capítulo anterior), el análisis histórico y epistemológico de las dificultades habidas en la formación de conceptos, leyes y teorías científicas, nos pueden servir de ayuda para clarificar las posibles causas de las dificultades de aprendizaje señaladas. En consecuencia, algunas dificultades en el aprendizaje de los conceptos básicos del Campo Magnético Estacionario, pueden tener un cierto paralelismo con las dificultades que se presentaron en la formación de los mismos a lo largo de la Historia; esta reflexión, no obstante, se ha de aceptar con las limitaciones derivadas de las diferencias de contexto, de indagación y culturales, en los que surgen (consecuencias C.9. a C.11.).

Para los análisis correspondientes se han realizado dos tipos de pruebas complementarias con estudiantes de “grupos de control”, estudiándose en todas ellas tanto los aspectos metodológicos como los fundamentalmente epistemológicos.

Una prueba ha consistido en pasar un cuestionario constituido por un conjunto amplio de “preguntas abiertas” (21 en total) a la muestra de estudiantes ya mencionada. El cuestionario se dividió en cuatro “subcuestionarios”, de forma que se pudiera contestar con suficiente tiempo en una sesión de clase y sin que hiciera mella el cansancio entre ellos. El número de estudiantes que hizo alguno de esos “subcuestionarios” fue de 940. La segunda prueba ha consistido en realizar entrevistas en profundidad, grabadas en audiotape, a una pequeña muestra de estudiantes de cada uno de los niveles citados.

#### *4.4.1. Diseños para contrastar que la mayoría de los estudiantes tienen grandes dificultades en el manejo significativo de los principales conceptos del Campo Magnético Estacionario*

Para intentar verificar las consecuencias C.1. a C.8. se ha elaborado un cuestionario (DOCUMENTOS 7-13) y de él se han extraído una serie de cuestiones para realizar entrevistas en profundidad (DOCUMENTO 14). Las entrevistas fueron realizadas a 6 estudiantes de cada nivel, siendo grabadas para su posterior transcripción literal y análisis.

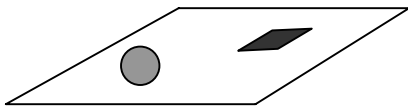
El objetivo del cuestionario es constatar las dificultades conceptuales y procedimentales que tienen los estudiantes con respecto a los aspectos fundamentales del tema del Campo Magnético Estacionario. Así mismo, se trata de ver si esas dificultades son similares a las que nos muestra la Historia del Magnetismo.

#### **DOCUMENTO 7. CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LOS ESTUDIANTES NO IDENTIFICAN CORRECTAMENTE LAS FUENTES DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO. (Consecuencia C.1)**

7.1) Como ya sabes la masa es la causante de que aparezcan campos gravitatorios, ¿cuál es la causa de que se produzcan campos magnéticos?. Pon dos ejemplos y explícalos.

7.2) Como ya sabes la brújula es un buen detector de campos magnéticos ya que en su presencia gira hasta orientarse en la dirección del mismo. Aprovechando este hecho razona y explica la siguiente cuestión :

Un alumno A1 tiene en el pupitre una canica cargada en reposo y en un momento determinado pone encima del pupitre una brújula (ver figura). ¿Girará dicha brújula?

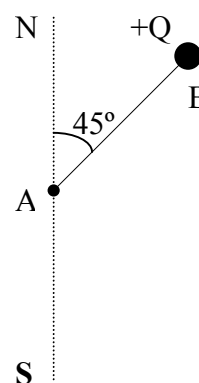


Explicación:

7.3) La línea de trazos de la figura 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.

a) Dibuja sobre A una flecha que represente la orientación de la aguja de la brújula.

b) Explica las razones de tu respuesta



Explicación:

7.4) ¿ Una barra cargada con una carga Q hará girar una brújula colocada en sus proximidades? Explica tu respuesta lo más detalladamente posible.

Explicación:

7.5) Marca con cruces las opciones con las que estés de acuerdo

**a) Una canica de madera con carga Q positiva**

- genera un campo eléctrico
- genera un campo magnético
- genera un campo eléctrico y un campo magnético
- no genera ni campo eléctrico ni magnético

**b) Una canica de cobre con carga Q positiva**

- genera un campo eléctrico
- genera un campo magnético
- genera un campo eléctrico y un campo magnético
- no genera ni campo eléctrico ni magnético

**c) Una canica de hierro sin carga eléctrica neta**

- genera un campo eléctrico
- genera un campo magnético
- genera un campo eléctrico y un campo magnético
- no genera ni campo eléctrico ni magnético

Explicación:

## ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

**Ítem 7.1.** Según la hipótesis C.1 suponemos que existirá confusión al identificar, por parte de los estudiantes, las fuentes del Campo Magnético Estacionario. Así pues, se valorará positivamente cuando los alumnos indiquen como fuente de dicho campo las cargas en movimiento y/o los imanes. (Reconociendo por nuestra parte que en muchos casos será un ejercicio mental exclusivamente memorístico)

**Ítem 7.2.** Se valorará positivamente cuando se reconozca que esa canica cargada, por estar en reposo, no genera un campo magnético y por lo tanto no producirá el giro de la brújula.

**Ítem 7.3.** Al igual que en el ítem anterior, se valorará positivamente cuando se explique que la brújula seguirá apuntando hacia el Norte, pues la carga eléctrica, que está en sus proximidades, no produce campo magnético alguno, al estar en reposo.

**Ítem 7.4.** Se valorará positivamente cuando el estudiante afirme que la barra, por estar en reposo, no hará girar a la brújula por no crear un campo magnético. También se aceptará que se diga, que sí la hace girar, si la barra se supone que está en movimiento respecto de un observador inercial.

**Ítem 7.5.** En este ítem, a diferencia del 7.1, la pregunta no es de carácter memorístico y sí aplicado, (con un carácter de aplicabilidad más profundo que en los ítems: 7.2, 7.3 y 7.4), por eso es plausible suponer que el grado de fracaso vaya a ser mayor. En a) y b) se valorará positivamente cuando se indique que en los dos casos, supuesta la canica en reposo, se crea un campo eléctrico y ninguno magnético. En el caso c), cuando se especifique que no creará un campo eléctrico; en cuanto al campo magnético, depende de si ha sido tratada o no por un campo magnético externo, en cuyo caso la respuesta sería sí en el primer supuesto (obviamos el factor tiempo), y no en el segundo.

**DOCUMENTO 8. CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LA MAYORÍA DE LOS ESTUDIANTES RECONOCE EL IMÁN COMO FUENTE DE  $\mathbf{B}$  PERO NO SABE JUSTIFICARLO DE FORMA COHERENTE CON EL MARCO TEÓRICO DE LA FÍSICA, EN CONSECUENCIA NO ESTABLECERÁN UNA RELACIÓN DE EQUIVALENCIA ENTRE UN IMÁN Y UNA ESPIRA DE CORRIENTE.**  
(Consecuencias C.2 y C.3)

8.1) Un imán crea un campo magnético a su alrededor debido a:

- a) Que en un imán hay una parte donde se acumula carga positiva y otra donde se acumula carga negativa
- b) Que dentro del imán existen corrientes de electrones que llevan a la creación de un campo magnético
- c) Otra respuesta. (Si optas por esta última, indica cuál es)

Explicación:

8.2) ¿Por qué crees que un imán como el de la figura atraerá a un material de hierro como por ejemplo un “clip”?

Explicación:



8.3) Tenemos los siguientes dos sistemas: a) por un lado, dos espiras que en el instante  $t=0$  están como indica la Fig.1. Si posteriormente hacemos pasar por cada una de ellas una intensidad de corriente  $I$ , en sentidos opuestos, se disponen como indica la Fig.2. b) el otro sistema estaría formado por dos imanes, tal como indica la Fig.3

1º) ¿Ambos efectos repulsivos presentan alguna analogía entre sí?

2º) Explica detalladamente el comportamiento observado en el sistema a (pareja de espiras) y en el sistema b (pareja de imanes)

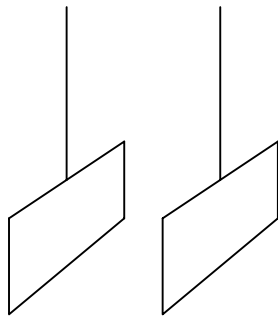


Fig.1

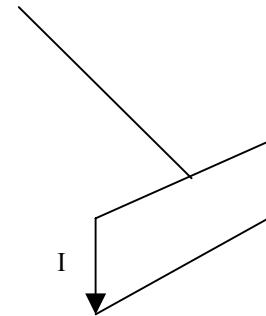
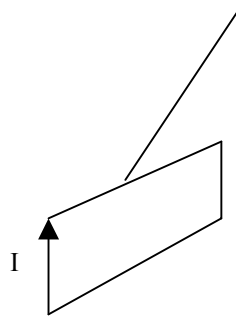


Fig.2

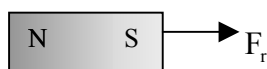
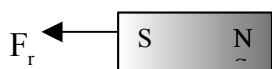
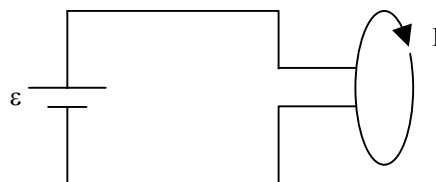


Fig.3

Explicación:

8.4) Tenemos una espira fijada en un circuito de corriente continua y enfrente un imán, como se indica en la figura. ¿Que sucederá? (Si para tu razonamiento utilizas alguna ley física indica cuál es).



Explicación:

## ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

**Ítem 8.1.** Según la hipótesis C.2, suponemos que la mayoría de los estudiantes no conoce, desde el punto de vista científico, (ni siquiera el modelo amperiano), el funcionamiento de un imán. En ese sentido se valorará positivamente que reconozca que la solución correcta es la b) que se plantea en dicho ítem.

**Ítem 8.2.** Esta cuestión completa a la anterior y se plantea en una situación más aplicada. Se valorará positivamente cuando se responda que: el imán crea un campo magnético, que es externo al clip, (material ferromagnético), que hará que sus dominios se orienten en la dirección y sentido del campo externo, lo que producirá que el propio clip cree su propio campo magnético que actuará sobre el imán. El campo magnético del imán crea sobre el clip una fuerza magnética; a su vez el campo del clip crea una fuerza magnética sobre el imán, que tal como son los dos campos (misma dirección y sentido) será fuerzas siempre de atracción.

**Ítem 8.3.** Según la hipótesis C.3, al no saber cómo se comporta un imán, se supone que los estudiantes no serán capaces de encontrar una relación de equivalencia entre una espira de corriente y un imán. En ese sentido se valorará positivamente cuando se explicita lo siguiente:

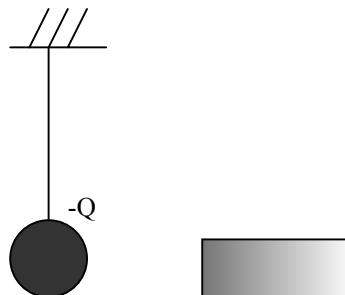
Para espiras: El resumen sería:  $I_1$  crea  $\vec{B}_1$ ;  $I_2$  crea  $\vec{B}_2$ .  $\vec{B}_1$  actúa sobre  $I_2$  creando una fuerza magnética  $\vec{F}_{12}$ .  $\vec{B}_2$  actúa sobre  $I_1$  creando una fuerza magnética  $\vec{F}_{21}$ , dichas fuerzas tienen la misma dirección pero sentidos opuestos por lo que las espiras se repelen.

Para imanes: El imán de la izquierda crea un  $\vec{B}_1$ , el de la derecha un  $\vec{B}_2$ . El campo  $\vec{B}_1$  actúa sobre las moléculas del imán de la derecha apareciendo una fuerza magnética sobre él  $\vec{F}_{12}$ . El  $\vec{B}_2$  actúa sobre las moléculas del imán de la izquierda y aparece una  $\vec{F}_{21}$  (esta es la analogía), dichas fuerzas son opuestas y por eso se produce la repulsión entre los dos imanes.

**Ítem 8.4.** Se valorará positivamente cuando se haga una elucubración del mismo tipo que en ítem anterior (en ese caso es híbrido pues se trata de una espira y un imán, pero las explicaciones serían del mismo tenor). Concretamente, tal como se ha dado el sentido de la I en la espira y el polo enfrentado a ella, se observaría que, en un primer momento, la espira y el imán se atraerían. (También quedamos que, aunque no sea la respuesta más ortodoxa, aceptar como correcto a los que afirmaran que esa espira funciona como un imán cuyos polos estarían en la misma dirección que los del imán y por lo tanto se atraerían.

**DOCUMENTO 9. CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LOS ESTUDIANTES NO RECONOCEN QUE EL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO SÓLO ACTÚA SOBRE SUS FUENTES. (Consecuencia C.4)**

9.1) Un estudiante afirma que en la situación de la figura, el imán y la bolita de poliestireno, cargada con una carga  $Q$  negativa, se repelerán mutuamente. ¿Estás de acuerdo con dicha afirmación? Explicalo detalladamente



Explicación:

9.2) Un estudiante afirma que: “una carga situada en una región donde existe un campo magnético, siempre estará sometida a una fuerza magnética”. ¿Consideras correcta tal afirmación, de acuerdo con la teoría explicada en clase?. Justifica tu respuesta lo más detalladamente que puedas.

Explicación:

9.3) Explica si estás de acuerdo con la siguiente afirmación: “el efecto de un imán sobre una partícula cargada es ponerla en movimiento”.

Explicación:

9.4) Marca con una “x” la/s opción/es con la/s que estés de acuerdo, en lo que se refiere a la siguiente afirmación: “Entre el polo norte de un imán y un trozo de material ferromagnético, (que es cualquier material de hierro puro o cobalto o níquel o cualquiera de las aleaciones entre ellos), se produce la siguiente interacción:

- Hay atracción magnética
- Hay atracción eléctrica
- Hay repulsión magnética
- Hay repulsión eléctrica
- No hay interacción magnética
- No hay interacción eléctrica

Explica detalladamente tu contestación:

**ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS**

**Ítem 9.1.** Según la hipótesis C.4, al no conocer con precisión las fuentes del campo magnético no se comprenderá sobre qué actúa el campo magnético. En este ítem se valorará positivamente cuando se diga que no se repelerán porque el imán, desde el

punto de vista magnético, no actúa sobre la carga en reposo. Aquí obviamos la inducción eléctrica, que cuantitativamente es importante, y que haría atraerse a los dos cuerpos, porque este ítem no perseguía ese objetivo; evidentemente si algún estudiante lo comentara (no lo ha hecho nadie), se le valoraría, también, positivamente. (En otro orden de cosas, y aunque no se valora explícitamente, se observa en todo el cuestionario, y en este ítem también, el déficit de los estudiantes con respecto a la 3ª ley de Newton cuando la tienen que utilizar en el ámbito del magnetismo; en esto coincidimos con lo ya observado por Galili (1995)

**Ítem 9.2.** Se valorará positivamente cuando se explique que aunque haya campo, si la carga sobre la que supuestamente actuaría dicho campo estuviera quieta, no habría fuerza magnética. La valoración, como se acaba de indicar, será positiva si se explicita la idea anterior, aunque se omita la posibilidad de que la fuerza también sería nula aunque la carga se estuviera moviendo si lo hiciera paralelamente a la dirección del campo magnético.

**Ítem 9.3.** Se valorará positivamente cuando se diga que no, pues si la partícula está en reposo el campo magnético creado por el imán no actúa sobre ella.

**Ítem 9.4.** En esta cuestión se mezclan dos posibles déficits (C.2 y C.4), por lo que el posible fracaso, supuestamente, aumentaría. Se valorará positivamente cuando se afirme que la respuesta correcta sea tal que haya atracción magnética debido a que el imán crea un campo magnético, que es externo al trozo de material ferromagnético, que hará que sus dominios se orienten en la dirección y sentido del campo externo, lo que producirá que el propio material cree su propio campo magnético que actuará sobre el imán. El campo magnético del imán crea sobre el material ferromagnético una fuerza magnética; a su vez el campo del material crea una fuerza magnética sobre el imán, que tal como son los dos campos (misma dirección y sentido) será fuerzas siempre de atracción. Evidentemente no existirá interacción eléctrica pues los dos cuerpos son neutros.

**DOCUMENTO 10. CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LOS ESTUDIANTES CONFUNDEN LAS CAUSAS (CAMPO) Y LOS EFECTOS (FUERZA) EN EL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO. (Consecuencia C.5)**

10.1) ¿Cuál será el campo magnético originado por un hilo largo, por el que circula una intensidad de corriente constante  $I$ , en un punto situado a una distancia  $d$  si en ese punto:

- 1) Hay una carga  $+Q$
- 2) Hay una carga  $-Q$
- 3) No hay carga alguna

Explicación:

10.2) ¿ Crea un campo magnético una carga  $+Q$  en reposo, en un lugar situado a una distancia  $d$  de ella, si en ese sitio:

- Se encuentra una carga en reposo  $+q$
- No hay carga alguna
- Existe una carga  $-q$  moviéndose con velocidad  $v$

Explicación:

#### ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

**Ítem 10.1.** Según la hipótesis C.5, (que por cierto es aplicable a otros campos de la Naturaleza), es esperable que se produzca una confusión entre los conceptos de campo y fuerza. Así que se valorará positivamente a aquellos estudiantes que afirmen que el campo en todos los casos es el mismo, el producido por el hilo, pues los campos sólo dependen de sus fuentes y no de sobre quién actúan (como es el caso de las fuerzas).

**Ítem 10.2.** Se valorará positivamente a quien afirme que por estar la carga  $+Q$  en reposo no generará en ese lugar campo magnético alguno.

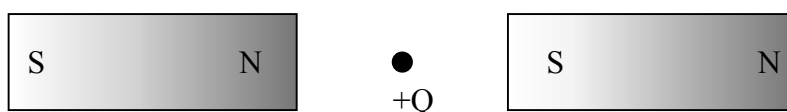
#### DOCUMENTO 11. CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LOS ESTUDIANTES ATRIBUYEN EFECTOS ELÉCTRICOS A UN CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO. (Consecuencia C.6)

11.1) Por un hilo rectilíneo pasa una intensidad de corriente constante  $I$ . A una distancia  $d$  de dicho hilo se encuentra una carga puntual  $q$  moviéndose con velocidad  $v$ , paralelamente a  $I$ . Explica razonadamente con cual de las siguientes afirmaciones estás de acuerdo:

- La fuerza que soportaría la carga sería sólo eléctrica, debida al campo eléctrico que crea la corriente.
- La fuerza que soportaría la carga sería sólo magnética, debida al campo magnético que crea la corriente.
- La fuerza que soportaría la carga sería la resultante de las fuerzas eléctrica y magnética, debidas a los campos eléctrico y magnético que crea la corriente.

Explicación:

11.2) ¿Se encuentra en equilibrio una partícula con carga  $Q$  positiva, en la situación de la figura? Explica detalladamente tu respuesta.



Explicación:

## ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

**Ítem 11.1.** Según la hipótesis C.6, los estudiantes no comprenderían bien las diferencias entre los efectos de un Campo Eléctrico Estacionario y de un Campo Magnético Estacionario, (lo cual puede suceder por diferentes motivos). En esta cuestión se valorará positivamente a quien responda que está de acuerdo con el apartado b), explicando que ese hilo, por estar recorrido por una intensidad de corriente (cargas en movimiento), crea un campo magnético que actuaría sobre la carga en movimiento dando lugar a una fuerza magnética sobre la carga. El campo eléctrico, sin embargo, no existiría, (se supone que la intensidad de corriente que circula por el hilo no es enormemente grande), ya que el hilo es neutro (no está cargado en el sentido electrostático)

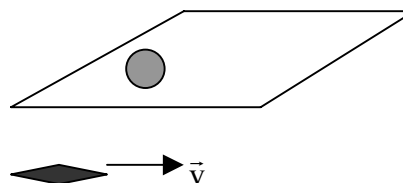
**Ítem 11.2.** Se valorará positivamente a quien afirme que la partícula se encontrará en equilibrio, ya que los imanes no actuarán sobre ella al considerar que está en reposo.

**DOCUMENTO 12.** CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LOS ESTUDIANTES NO TIENEN EN CUENTA LA DEPENDENCIA DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO CON EL SISTEMA DE REFERENCIA. (Consecuencia C.7)

12.1) Como ya sabes la brújula es un buen detector de campos magnéticos ya que en su presencia gira hasta orientarse en la dirección del mismo. Aprovechando este hecho razona y explica la siguiente cuestión :

Un alumno, A1, tiene en el pupitre una canica cargada en reposo. Así mismo, otro alumno, A2, que se mueve con una velocidad  $\underline{v}$  respecto al primero (ver figura) tiene en su mano una brújula. ¿Girará la brújula del alumno A2?. Explícalo detalladamente.

Explicación:



12.2) Un alumno, A1, calcula el campo magnético total creado por dos partículas cargadas que se aproximan entre sí. Otro alumno, A2, calcula el campo magnético creado por el mismo par de cargas, (en el mismo lugar y en el mismo instante que el calculado por el alumno A1), y obtiene un resultado diferente. ¿Podría ser que los dos alumnos tuvieran razón? Explica detalladamente tu respuesta.

Explicación:

## ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

**Ítem 12.1.** Según la hipótesis C.7, los estudiantes no tendrían en cuenta la posibilidad de que la velocidad que aparece en la ley de Biot y Savart, pudiera ser medida respecto de cualquier sistema de referencia inercial. Así que se valorará positivamente, cuando se

indique que la brújula de A2 sí girará pues para ese observador inercial la carga está en movimiento, con velocidad  $-v$ , creando un campo magnético, (ciertamente débil en este caso), que la hará girar.

**Ítem 12.2.** Se valorará positivamente cuando se indique que sí es posible que los dos observadores tengan razón, pues aunque todos los parámetros, excepto la  $v$ , son iguales para los dos, dicha velocidad puede ser distinta si esos dos observadores inerciales no están en reposo entre sí y por lo tanto, cuando miden la velocidad de las partículas, obtienen resultados diferentes, pero, por supuesto, en ambos casos, correctos.

**DOCUMENTO 13.** CUESTIONARIO PARA CONTRASTAR QUE LOS ESTUDIANTES TIENEN DIFICULTADES PARA RELACIONAR CUANTITATIVAMENTE EL COMPORTAMIENTO DE  $\mathbf{B}$  A LO LARGO DE UNA TRAYECTORIA CERRADA Y LA CANTIDAD DE CORRIENTE QUE ATRAVIESA LA REGIÓN LIMITADA POR LA CITADA TRAYECTORIA. (Consecuencia C.8)

13.1) Por cada uno de los dos hilos “infinitos”, como los que se muestran en el dibujo, pasa una intensidad de corriente de  $I$  amperios. Estos hilos son perpendiculares con respecto al plano del papel, siendo una dirigido hacia afuera y el otro hacia adentro. Las trayectorias (1), (2) y (3) son “líneas amperianas” circulares y son recorridas en sentido contrario a las agujas del reloj. Por otro lado la intensidad saliente está en el centro de (1) y la entrante en el centro de (2).

a) ¿Estarías de acuerdo con la siguiente afirmación?

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ , utilizando cualquiera de las tres trayectorias.

(siendo  $I$  la intensidad que pasa por un hilo).

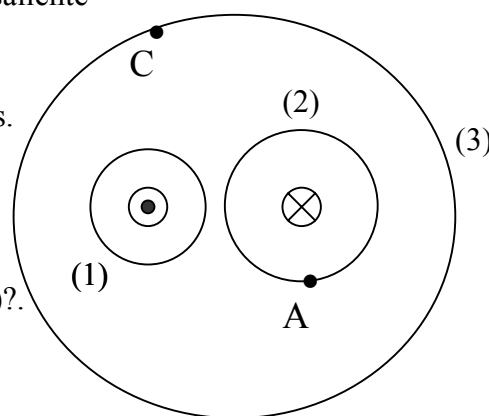
b) Y si sólo existiese la corriente saliente del papel, ¿estarías de acuerdo con la expresión anterior calculada utilizando la trayectoria (1)? ¿y utilizando la trayectoria (3)?

c) Un estudiante utiliza la ley de Ampère y dice que el

campo magnético en el punto A es:  $B_A = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ , siendo

$r$  el radio de la trayectoria circular (2). ¿Estarías de acuerdo con ese estudiante?

d) Un estudiante, utilizando la trayectoria (3), aplica la ley de Ampère y llega a la conclusión de que el campo magnético en el punto C, debido a las dos corrientes es nulo. ¿Estarías de acuerdo con ese estudiante?



**Nota:** En todos los casos, si estás de acuerdo con las afirmaciones, explica por qué. Si no lo estás razona el por qué no lo estás, dando tu respuesta alternativa.

13.2) Sea un hilo de corriente “infinito” por la que circula una intensidad  $I$ ; dicho hilo de corriente es perpendicular al plano del papel y dirigido hacia afuera (ver figura).

Un estudiante, E1, aplica la ley de Ampère para calcular el campo magnético que crea esa corriente en A, utilizando la trayectoria circular (1), por cuyo centro pasa el hilo de corriente, y llega a la conclusión de que el valor de dicho campo

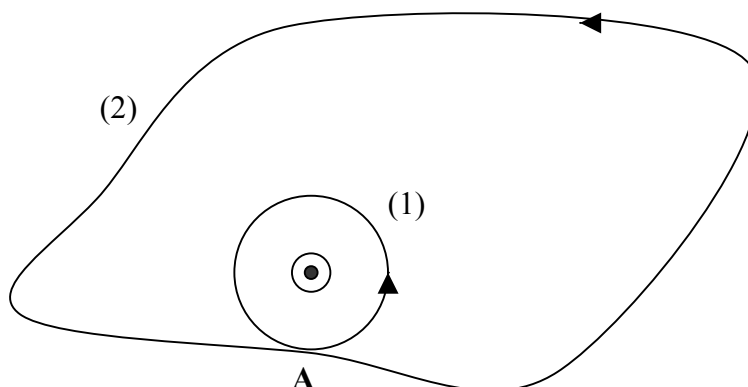
es:  $B_A = \frac{\mu_0 I}{\ell}$ , siendo

$\ell$  la longitud de la circunferencia correspondiente a la trayectoria (1).

Otro estudiante, E2, hace lo mismo, pero utilizando la trayectoria (2), llegando a la conclusión de que el campo magnético en A vale:  $B_A = \frac{\mu_0 I}{L}$ , siendo L la longitud de la trayectoria (2).

Explica, razonadamente, si estás de acuerdo con el estudiante E1 o con el E2 o con los dos o con ninguno de ellos.

Nota: Las trayectorias (1) y (2) están situadas en el plano del papel.



#### ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS

**Ítem 13.1.** Según la hipótesis C.8, los estudiantes utilizarían la Ley de Ampère con un marcado carácter acrítico y puramente algorítmico, de ahí que cometan numerosos fallos. Por lo tanto se valorará positivamente cuando contesten en el siguiente sentido:

- Para (1) y (2) sí, pero no para (3) pues en ese caso  $\Sigma I = 0$ .
- Sí están de acuerdo, pues para hallar la circulación de  $\mathbf{B}$  basta con que la línea amperiana rodee a las fuentes, como era el caso.
- No, pues en la Ley de Ampère, el campo que aparece en la cantidad subintegral es el total, es decir, el debido a las corrientes interiores y exteriores a la línea amperiana.
- No, porque para hallar el campo magnético en el punto C, no se puede aplicar la ley de Ampère pues se carece de simetría suficiente, es decir, ni el campo es constante, en módulo, en todos los puntos de la línea amperiana, ni el ángulo que forma dicho campo con la dirección de cada “elemento diferencial” de trayectoria es el mismo.

**Ítem 13.2.** En esta cuestión, que tiene como objetivo que los estudiantes analicen la posibilidad de calcular el campo magnético utilizando la ley de Ampère en dos contextos diferentes (variando la línea amperiana), y que de alguna manera complementa al ítem anterior, se valorará positivamente cuando se afirme que sólo el estudiante E1 tiene razón, pues el E2 no puede aplicar la ley de Ampère, para calcular el campo magnético, utilizando la línea amperiana que ha elegido, pues con ella no se

podría sacar fuera de la integral de la circulación del campo dicho campo ya que como hemos dicho anteriormente ni el campo es constante, en módulo, en todos los puntos de esa línea amperiana, ni el ángulo que forma dicho campo con la dirección de cada “elemento diferencial” de trayectoria es el mismo.

La segunda prueba prevista en este diseño es entrevistar a una pequeña muestra de estudiantes de cada nivel. El objetivo de la misma es analizar más en profundidad las respuestas y los razonamientos de los estudiantes, cuando resuelven determinadas cuestiones que previamente han contestado por escrito. También pueden servir al investigador para confirmar o aclarar respuestas que en el cuestionario escrito no hubieran quedado lo suficientemente claras.

Las entrevistas, con cada estudiante se estructuraban de la forma siguiente: en primer lugar, al alumno o alumna se le presentaba las cuestiones que luego iba a comentar con el investigador y se le dejaba un tiempo de aproximadamente 25 minutos para que reflexionara sobre ellas y anotara lo que estimara oportuno, finalizado ese período se comenzaba la entrevista oral con el investigador que venía a durar unos treinta minutos; dicha entrevista quedaba grabada.

La elección de los alumnos y alumnas no se hizo aleatoriamente sino que se escogió, en todos los niveles, estudiantes que, como mínimo, tenían la asignatura de Física General aprobada, y en el caso de tercero de Físicas, la asignatura de Electromagnetismo.

Las cuestiones objeto de la entrevista, se muestran en el DOCUMENTO 14. Estas cuestiones fueron las mismas para todos los niveles de enseñanza, excepto la correspondiente a la ley de Ampère que no se pasó a los estudiantes de 2º de BACHILLERATO, ya que esa ley recibe un tratamiento, en los casos en que se hace alguno, casi nulo en dicho nivel de enseñanza.

**DOCUMENTO 14. ENTREVISTA ESTRUCTURADA Y GRABADA EN AUDIOTAPE PARA COMPROBAR EL POCO APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DEL CAMPO MAGNÉTICO ESTACIONARIO**

*Cuestión 1*

Es la misma que el ítem 7.5 del cuestionario consistente en averiguar si los estudiantes conocen significativamente las fuentes del Campo Magnético Estacionario, en una situación aplicada y, por lo tanto, no memorística.

*Cuestión 2*

Es la misma que el ítem 8.2 del cuestionario, tiene objetivo averiguar si los estudiantes conocen (se considerará la teoría de Ampère) porqué un imán funciona como lo hace; también el funcionamiento de materiales ferromagnéticos.

*Cuestión 3*

Es la misma que el ítem 8.4 del cuestionario, su objetivo es ver si los estudiantes relacionan los imanes y las espiras de corriente en un esquema común.

*Cuestión 4*

Es la misma que el ítem 12.2 del cuestionario, en el que se trata de averiguar hasta qué punto los alumnos y alumnas son conscientes de una característica muy especial del Campo Magnético...su aspecto relativista.

*Cuestión 5*

Es la misma que el ítem 13.2 del cuestionario consistente en observar si los estudiantes aplican la ley de Ampère de una forma acrítica y meramente operativa o, por el contrario la aplican de una forma significativa.

**ESTADILLO PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES EN LAS ENTREVISTAS**

Obviamente el criterio de valoración para estas cinco cuestiones, (cuatro para los estudiantes de 2º de BACHUILLERATO, pues como ya se ha advertido previamente no se les pasó la Cuestión 5, es el mismo que ya se ha expuesto para los ítems del cuestionario escrito: 7.5, 8.2, 8.4, 12.2 y 13.2 respectivamente.