

*¿Se introduce adecuadamente el concepto de campo en la enseñanza secundaria? Un análisis de esta idea desde el punto de vista didáctico.*

# ANÁLISIS DE LA INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO DE CAMPO

Jordi Solbes i Matarredona y José Martín Quero

## ABSTRACT

The concept of field is one of the most important in Physics. Unfortunately secondary school students find it obscure and difficult to grasp. We argue that this is mainly due to an incorrect didactic treatment in Physics textbooks, which causes the field idea to be seen as an artificial method to calculate the force, with a misleading superposition of the two concepts.

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia que han adquirido en la Física actual los conceptos de campo y potencial no necesita ponerse de manifiesto. El descubrimiento de la relación entre los campos eléctricos y magnéticos llevó a la fabricación de motores, al diseño de generadores de corriente eléctrica y a toda la revolución que ha supuesto el uso de la electricidad en este siglo. La influencia del electromagnetismo en nuestra vida es evidente, si en un principio se habló de la revolución industrial gracias a la invención de la máquina de vapor, ahora se habla de la revolución en las comunicaciones, la era de la información, y todo ello basado en la teoría del campo electromagnético.

Por ello es necesario introducir en los programas de Física de Enseñanza Se-

cundaria y primeros cursos universitarios, el concepto de campo, aunque aparecen multitud de dificultades para ello:

a) Debido a que es difícil realizar una introducción cualitativa de los mismos, al no estar relacionados con la experiencia cotidiana del alumno.

b) A que las interacciones entre partículas pueden ser descritas mediante fuerzas, campos, energías potenciales, etc. Lo que produce desorientación en el alumno.

No podemos pensar que estas dificultades se deban al poco tiempo dedicado al tratamiento de estos temas, de hecho, en los programas oficiales de todos los cursos se introduce el concepto de campo, bien gravitatorio, eléctrico o magnético. Esto nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas:

i) ¿Cómo se introduce en la enseñanza usual el concepto de campo, tanto desde el punto de vista científico, cómo didáctico?

ii) ¿Llega el alumno a comprender y asimilar el concepto de campo y sus aplicaciones?

## 2. Formulación y fundamentación de las hipótesis realizadas

Consideramos, y esta es nuestra hipótesis, que la introducción de los conceptos

relativos a la teoría de campos es en general deficiente y confusa y en consecuencia es el origen de las dificultades de comprensión y de los errores conceptuales que presentan los alumnos. Más en concreto:

I. La interacción entre partículas se presenta con los diferentes modelos que se han ido introduciendo en la Historia de la Física: fuerzas, energías, campos, etc., que se yuxtaponen en la enseñanza habitual, recurriendo a uno u otro sin diferenciación.

II. No se muestran, en particular, los límites del modelo de fuerzas (propagación a distancia de forma instantánea, etc.) ni las ventajas del modelo de campos, que permite explicar un mayor número de fenómenos (la propagación de ondas electromagnéticas, la integración de la Óptica dentro del electromagnetismo, etc.).

III. Con ello se proporciona una imagen deformada del desarrollo de la Ciencia y de la propia metodología científica.

IV. En consecuencia los alumnos no llegan a comprender, no solo el concepto de campo, sino su necesidad, ya que no pasa de ser un mero artificio para explicar las fuerzas y no adquiere un significado físico independiente, al mismo nivel que estas o las partículas, apareciendo además errores conceptuales.

De acuerdo con ello fundamentare-

mos nuestras hipótesis en la forma usual de enseñanza, que conduce generalmente a un tratamiento didáctico incorrecto de la Física y, en particular del concepto de campo.

## 2.1 Algunas ideas sobre la enseñanza-aprendizaje de la física

La enseñanza habitual basada en el modelo de transmisión verbal presenta una serie de limitaciones que han sido puestas de manifiesto por la investigación didáctica durante los últimos quince años.

Así, según dicho modelo se supone que basta una explicación clara y bien presentada por el profesor para conseguir la comprensión de los conceptos, que serán ilustrados por la experimentación en el laboratorio y la realización de ejercicios. Desde esta visión, el hecho de que los alumnos no aprendan se atribuye a la falta de trabajo personal o a factores relacionados con su capacidad intelectual, falta de interés por la asignatura, etc. (5).

Este modelo ignora que cada alumno posee una estructura conceptual, es decir, un sistema de conceptos que él ha ido elaborando para poder explicar y predecir lo que ocurre a su alrededor (1), (4), (11). Adquirida a través del aprendizaje, por una serie de ideas que se originan en el proceso de inducción, intuición e imaginación que el alumno realiza, desde su infancia, para poder interpretar la realidad y por el uso de términos científicos en el lenguaje ordinario con significados diferentes a los reales (4), (9), (17).

Estos preconceptos, muy arraigados, son capaces de coexistir con conocimientos que los contradigan, obstaculizando la comprensión de nuevos conceptos transmitidos por el profesor e inducen errores conceptuales (respuestas incorrectas en las situaciones en que tienen que utilizar dichos conceptos de una manera reiterada y generalizada). Dichos preconceptos presentan una notable resistencia a ser sustituidos por los conocimientos científicos, encontrándose incluso en estudiantes universitarios y profesores en activo (3), (14).

Otras limitaciones del modelo de transmisión verbal son:

a) El abandono generalizado de los alumnos ante problemas que se separen aún ligeramente de los realizados en clase, en efecto, se ha señalado que los alumnos no aprenden a resolver problemas, sino únicamente a comprender y memorizar soluciones explicadas por el profesor, lo cual conduce, ante un nuevo problema, al abandono del alumno si no es reconocido como otro ya resuelto (7).

b) La conversión de los trabajos prácticos en meras ilustraciones o comprobaciones de lo expuesto anteriormente por el profesor. Esto convierte dichas prácticas en meras manipulaciones siguiendo guías pormenorizadas (19), (6).

c) La visión deformada que se proporciona de la ciencia y de los científicos, caracterizada por:

- El empirismo (los conocimientos científicos se forman por inducción a partir de los "datos puros") y el operativismo (la aplicación mecánica de las matemáticas, de las "fórmulas") (1).

- Un planteamiento lineal y acumulativo del desarrollo científico, que no muestra la existencia de rupturas conceptuales en las ideas aceptadas por los científicos, lo que se traduce en la aparición de nuevos paradigmas (8).

do de enseñanza del profesor, a la escasez de prácticas, a la ausencia de temas de Física de actualidad y a la falta de confianza en el éxito al ser evaluados (16).

¿Qué consecuencias tiene el modelo de enseñanza que hemos caracterizado, en la introducción del concepto de campo?

Nuestra hipótesis sobre la introducción del concepto de campo en la enseñanza habitual y sus consecuencias en los

## ITEMS.

- 1.- ¿Cómo se introducen los conceptos de campo (gravitatorio, eléctrico, magnético)?
- 2.- ¿Se realizan actividades para superar errores conceptuales?
- 3.- ¿Se diferencia claramente el modelo de campos del de fuerzas a distancia para explicar las interacciones mencionadas en 1)?
- 4.- ¿Se justifica de alguna manera la conveniencia de introducir el modelo de campos como alternativa al de fuerzas a distancia?
- 5.- ¿Se hace alguna discusión de tipo conceptual sobre la idea de campo, o sólo se enfatiza el carácter operativo del modelo?
- 6.- ¿Qué significado se atribuyen a las líneas de campo?
- 7.- ¿Se comparan entre sí los diferentes campos mostrando sus analogías y diferencias?
- 8.- ¿Se muestra la síntesis de Maxwell? ¿Cómo?
- 9.- ¿Se presentan pruebas de que la teoría de campos es más fructífera que la idea de acción a distancia, como por ejemplo:
  - a) mostrando que permite explicar la naturaleza de las ondas em?
  - b) mostrando que permite integrar la Óptica dentro de la teoría?
- 10.- ¿Se presenta alguna experiencia de laboratorio que ilustre el concepto de campo o potencial?
- 11.- ¿Se hace alguna referencia a las consecuencias técnicas o sociales de la teoría de campos (radio, TV, transmisiones vía satélite, etc.)?
- 12.- ¿Cómo se introducen los aspectos energéticos ligados al campo?
- 13.- ¿Se hace una discusión cualitativa de lo que representa la energía potencial de un sistema?
- 14.- ¿Se menciona que la interacción a distancia puede explicarse también como un intercambio de partículas entre los cuerpos que interactúan (cuantificación del campo)?
- 15.- ¿Se intentan explicar otras interacciones (por ej, la nuclear) mediante dicho intercambio de partículas?
- 16.- ¿Se hace alguna discusión sobre la energía y momento transportados por los campos (radiación em), por ej, a través del efecto fotoeléctrico o Compton?

Cuadro 1. Cuestionario para el análisis de textos

- Una imagen de las ciencias físicas alejada de los problemas del mundo, que ignora sus complejas interacciones con la técnica y la sociedad. En efecto, pocos estudiantes españoles son capaces de mencionar tales relaciones y los que lo hacen, se limitan en su mayor parte a aquellas que tienen un carácter negativo (armamento, contaminación, lo nuclear, etc), inducidos posiblemente por los medios de comunicación social (16).

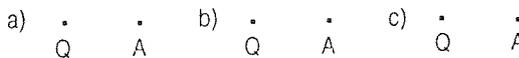
d) El descenso constatado del interés, de la actitud favorable de los alumnos hacia la Física y su aprendizaje, atribuido por ellos mismos a la ausencia de las interacciones ciencia-técnica-sociedad, al méto-

alumnos (incomprensión, errores conceptuales) se puede fundamentar en el hecho de que la enseñanza usual se conforma con realizar definiciones operativas (en la mejor tradición empirista) y manipulaciones cuantitativas (resolución de problemas de cálculo, etc.) sin profundizar en el significado de los conceptos, sin relacionarlos y compararlos con otros.

Así, la mayoría de los casos estudiados en Enseñanza Secundaria, se refieren a situaciones estáticas y a corrientes estables, de forma que todas estas situaciones pueden ser explicadas usando las leyes de Coulomb y de Biot-Savart, para calcular las fuerzas entre cargas y corrien-

# ITEMS.

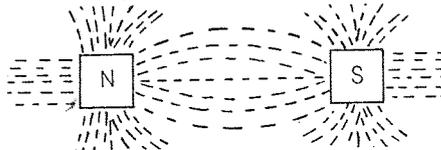
- 1.- Observas a un hombre empujando un coche averiado. ¿Cómo crees que el hombre puede ejercer una fuerza sobre el coche? ¿Mediante qué mecanismo se ejerce esta fuerza?. Razónalo.
- 2.- Hay otros casos en que un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, por ej, el Sol atrae a la Tierra, la Tierra atrae a un cuerpo que está en el aire, un bolígrafo frotado atrae a pequeños trozos de papel, un imán atrae a un clavo, ¿cómo crees que es posible que dicha fuerza actúe entre ellos sin que haya contacto y entre ellos exista el vacío?. Explicalo.
- 3.- ¿Qué diferencias y analogías observas entre las fuerzas de los items 1 y 2?.
- 4.- ¿Qué es un campo (gravitatorio, eléctrico, magnético)?.
- 5.- ¿Cuántas partículas (masas, cargas) hacen falta para que exista un campo (gravitatorio, eléctrico)?.
- 6.- En el espacio exterior, libre de toda atracción de planetas y estrellas se colocan dos pequeñas masas  $m_1$  y  $m_2$  separadas una distancia pequeña. ¿Qué ocurrirá?.
- 7.- Dibuja el campo creado por una carga  $Q=+2C$  en el punto A en los tres casos siguientes:
  - a) En A hay una carga  $q=+1C$ .
  - b) En A hay una carga  $q=-1C$ .
  - c) En A no hay nada.



- 8.- Sean dos cargas  $Q$  y  $Q'$  ambas positivas,  $Q' > Q$ , situadas en dos puntos A y B separados una distancia  $r$ .
  - a) ¿El campo  $E$  creado por  $Q$  en B es mayor, menor o igual que el campo  $E'$  creado por  $Q'$  en A?.
  - b) ¿La fuerza que  $Q$  produce sobre  $Q'$  es mayor, menor o igual que la fuerza que  $Q'$  produce sobre  $Q$ ?.



- 9.- Se dice que el campo evita la idea de acción a distancia. ¿Por qué?.
- 10.- Si colocas un imán debajo de una hoja de papel y esparces limaduras de hierro por encima de él observarás la siguiente figura:



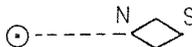
Sin embargo, cuando no hay imán no ocurre esto. ¿A qué crees que es debido este cambio de comportamiento?.

11. Cuando una partícula se encuentra en el interior de un campo se habla de la existencia de una energía potencial. ¿A qué es debida? ¿Donde se localiza esta energía?.
12. ¿Cómo crees que es posible que la señal de TV que se emite desde Madrid llegue a tu televisor o que lo que habla un locutor de una emisora de radio llegue a tu receptor? ¿Crees que ello tiene alguna relación con los campos eléctricos y magnéticos?.
- 13.- Tenemos un conductor metálico por el que circula una corriente rectilínea cuyo sentido es saliendo del papel. Dibuja el campo en el punto A en los tres casos siguientes:
  - a) en A hay una carga  $q=+1C$ .
  - b) en A no hay nada.
  - c) en A hay una carga  $q=+1C$  moviéndose a velocidad  $v$ .



conductor

- 14.- Tenemos dos cargas separadas una distancia  $r$ . De pronto una de ellas comienza a vibrar. ¿Lo notará la otra carga? ¿Lo hará instantaneamente o tardará algo de tiempo?.
- 15.- Tenemos una corriente rectilínea que circula por un conductor metálico en sentido saliente del papel, y a su lado un imán tal como se aprecia en la figura. Dibuja cuál será la posición final del imán.



- 16.- ¿Crees que la teoría electromagnética o en general la teoría de campos ha introducido cambios de indole práctico en el mundo en que vivimos?. Señala 3 o más consecuencias prácticas y explica cual es su fundamento o relación con la teoría em.
- 17.- Otra forma de interpretar la interacción de partículas ha sido el pensar que entre ambas se intercambia otra.
  - a) ¿Qué partícula se intercambia en la interacción electromagnética entre dos cargas?.
  - b) ¿Qué partícula se cree que se intercambia entre dos masas en la interacción gravitatoria?.
  - c) ¿Conoces algún otro caso de interacción que se explique por intercambio de partículas? ¿Has oído el nombre de estas partículas?.

## Cuadro 2. Cuestionario de alumnos

tes, sin necesidad de recurrir a un campo electromagnético (13). Esto parece sugerir que la introducción de campos en estos casos es solo una forma de conveniencia y no una necesidad; que el lenguaje del campo es redundante (13), (12).

Por otra parte, es una tendencia moderna en la enseñanza de la Física, inclinarse por un gran uso de la imagen de campo al tratar el electromagnetismo y la gravitación. Sin embargo, el tratamiento usual contiene poca o ninguna discusión

sobre el significado físico de los conceptos. Por ej., la importancia de que las interacciones ocurren localmente, mejor que a distancia, no se presenta adecuadamente (12).

Además, es corriente en los libros de

texto explicar la caída de los cuerpos diciendo que la energía cinética del cuerpo se incrementa cuando su energía potencial decrece, la última se convierte en la precedente. En esta imagen el cuerpo se ve como poseedor de la energía. No se hace ninguna referencia al campo (12).

La teoría de campos se desarrolla en clase atendiendo a lo que se denomina estructura lógica de la disciplina, sin tener en cuenta su desarrollo histórico. Ello da la impresión de que la teoría se induce a partir de los experimentos sin tener en cuenta las concepciones previas de los científicos, el contexto intelectual de la época, y su influencia sobre la elección de los problemas a investigar, la forma de abordarlos, etc. (2), (10).

Finalmente, no se tienen en cuenta las interacciones ciencia- técnica-sociedad, lo que tiene especial relevancia para el concepto de campo por sus múltiples aplicaciones técnicas de alta repercusión social.

### 3. Diseño experimental para la contrastación de nuestras hipótesis

Para comprobar las distintas hipótesis enumeradas anteriormente hemos recurrido a la elaboración y aplicación de un cuestionario de alumnos y un cuestionario de textos.

Para ello, hemos elaborado un primer borrador que ha sido sometido a expertos para su revisión, hemos realizado un ensayo piloto para analizar la validez de los cuestionarios revisados (facilidad de comprensión de los ítems, coherencia de los resultados, etc), y, finalmente, hemos reelaborado los cuestionarios a la luz del análisis del ensayo piloto y se ha aplicado definitivamente al colectivo elegido.

#### 3.1. Cuestionario para el análisis de textos

Para analizar la introducción de los conceptos de campo eléctrico, magnético y gravitatorio en los textos utilizados por los profesores; práctica habitual en la investigación didáctica, puesto que (20), la mayoría de los profesores se apoyan en un libro de texto durante un 90 % de su trabajo en clase, se ha elaborado un cuestionario de 16 ítems (cuadro 1) que ha sido aplicado a 30 libros de diferentes niveles:

a) 15 corresponden a 2º ciclo de EGB y 2º de BUP, (nivel 1).

b) 15 corresponden a 3º de BUP y COU, (nivel 2).

#### 3.2. Cuestionario de alumnos

El cuestionario de alumnos se ha dividido en dos niveles.

a) Un primer nivel correspondiente a alumnos que han cursado estudios hasta 2º de BUP.

b) Un segundo nivel formado por estudiantes de 3º de BUP y COU.

El cuestionario se compone de 17 ítems en total, aunque los alumnos del 1º

nivel solo deben contestar los 12 primeros (cuadro 2). El tiempo que se les dejó para resolverlo fue ilimitado, aunque la mayoría utilizó aproximadamente una hora en su ejecución.

### 4. Presentación y análisis de los resultados

#### 4.1. Resultados del análisis de textos

En la tabla 1 se muestran los resultados del análisis de los 30 libros de textos, niveles 1 y 2, analizados. Realizando a continuación un breve comentario sobre cada uno de los ítems.

El ítem 1, demuestra que salvo los textos de Enseñanza General Básica, casi todos los libros analizados introducen el concepto de campo como la región del espacio donde se puede medir una cierta propiedad física, en el caso de los campos es el valor de la fuerza que actúa sobre una partícula susceptible de interactuar con el campo. El problema no es que esta definición sea inadecuada, sino que como se demuestra en los ítems 2, 3, 4 y 5 posteriormente no se suele hacer un análisis cualitativo de lo que representa la idea de campo; y por ello no se disocian campo y fuerza, resultando el campo un concepto redundante y confuso.

Hay libros que mencionan que el campo supone una alteración del espacio que rodea a la carga o masa que lo crea, lo que plantea otra cuestión: ¿Qué entiende un alumno de este nivel por alteración del espacio? ¿Cuándo se le ha explicado al alumno que el espacio tiene alguna estructura que pueda ser modificada?

La utilización de actividades que permitan superar posibles errores conceptuales como demuestran los resultados del ítem 2 son nulas.

El ítem 6 muestra que los textos analizados definen las líneas de fuerza como líneas tangentes al vector intensidad de campo, o bien como trayectorias seguidas por la unidad de carga o masa dejadas libremente, sin profundizar en otro significado de las líneas de campo, como que éste puede interpretarse como una densidad de líneas de campo.

Los resultados del ítem 7 permiten señalar que la comparación es un tanto superficial, salvo en los textos de COU, donde hay una pregunta específica que compara el campo E y g. Aunque nunca se llegan a comparar los campos eléctrico, magnético y gravitatorio a la vez.

Los resultados obtenidos en el ítem 8 muestran como sólo algunos libros de COU llegan cualitativamente a la síntesis de Maxwell. Aunque no muestran la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos con otras ramas de la Física, como por ej., la Óptica.

El ítem 9 muestra que la mayoría de los textos del nivel 2 refieren sólo el hecho de que la teoría electromagnética predice la existencia de ondas electromagnéticas (em), y que la luz es una onda

em, pero sin relacionar éste hecho con la Óptica, y escasamente con otro tipo de radiaciones, en concordancia con el ítem 8.

El ítem 10, aunque parece obtener muy buenos resultados, se debe a la benignidad del criterio de corrección. Hemos dado por válido este ítem si mencionaba alguna experiencia relacionada con los campos, la mayoría suele utilizar la medición de g mediante un péndulo o la determinación de líneas de campo mediante papel teledelto, experiencias que nos parecen inadecuadas. Sólo proyectos educativos muy elaborados proponen prácticas más imaginativas e intuitivas como la visualización de líneas de campo eléctrico mediante semillas de césped (proyecto PSSC).

Casi todas las aplicaciones que se mencionan de la teoría de campos se refiere a la utilización de ondas em en el campo de la medicina (rayos X) y el de las comunicaciones. Sobre el campo gravitatorio el tratamiento es nulo.

Ítem 12 y 13. La Energía potencial se trata, en el nivel 1, en relación a la posición, sobre todo en el campo gravitatorio, mgh. En el nivel 2 se introduce como el trabajo realizado por la fuerza debida al campo, pero siempre asociándolo a la partícula. En ningún momento se asocia al sistema o al campo.

Ítem 14 y 15. A pesar de estar relacionados estos dos ítems, se obtienen mejores resultados en el 15, dado que suele haber en ambos cursos un tema donde se trata el núcleo y se menciona la idea de Yukawa de considerar la interacción nuclear como un intercambio de piones; ésta idea de explicar las interacciones no se extiende a las fuerzas eléctricas y gravitatorias, tal como demuestran también los resultados del ítem 17 del cuestionario de alumnos.

Ítem 17. Solo unos pocos textos hacen una discusión del efecto fotoeléctrico y Compton desde el punto de vista clásico, considerando que la radiación em al igual que cualquier otra onda es portadora de energía y momento. Demuestran que la teoría clásica no explica dichos fenómenos y recurren a la hipótesis de Einstein introduciendo el fotón, dando a entender que este es el verdadero portador de energía y momento. Asociando estas magnitudes a la partícula.

En los libros del primer nivel es donde se localizan un mayor número de errores conceptuales. Mencionamos citas textuales de algunos textos:

"Las fuerzas de atracción eléctricas son negativas, las de repulsión son positivas (sin embargo no hay tratamiento vectorial de las fuerzas)".

"La luz no se puede pesar como la materia".

"Los planetas se sostienen gracias a la gravedad. Entre cuerpos pequeños no se nota atracción gravitatoria".

"Los imanes con su poder de atraer objetos sin tocarlos tienen un efecto mágico".

Como señala Strube (18), muchos de

estos errores conceptuales que aparecen en los textos se deben a una aceptación acrítica de lo que se ha incluido anteriormente en otros textos.

#### 4.2. Resultados del cuestionario de alumnos

El cuestionario de alumnos elaborado (cuadro 2) se ha pasado a una muestra compuesta por:

a) 135 alumnos de 2º de BUP (nivel 1), y;

b) 131 alumnos de 3º y COU (nivel 2).

En la tabla 2 se presentan los resultados que comentamos a continuación:

En el ítem 1 un gran número de alumnos explica que el hombre puede ejercer dicha fuerza gracias a su energía muscular (interpretación animista). En el 2º nivel predomina una interpretación operativa del fenómeno en la cual el alumno aplica la 2ª ley de Newton sin entrar en consideraciones cualitativas,

mejor resultado vuelve a obtenerse en los alumnos de COU, que suelen definir el campo como una región del espacio en la que se manifiesta una fuerza cuando penetra una partícula sensible a la interacción (de acuerdo con nuestra hipótesis el campo no se disocia de la fuerza).

Item 5. Los resultados de este ítem concuerdan con el anterior, la mayoría de los alumnos son incapaces de dar un significado al campo independiente de la fuerza, una gran proporción contesta que hace falta más de una partícula para crear el campo.

El ítem 7 muestra también esta incapacidad, la mayoría de los alumnos identifican el vector intensidad de campo eléctrico con la fuerza existente entre ambas cargas, y por ello la mayoría contesta que en el caso c) no existe campo. Esta conclusión se refuerza también por los resultados del ítem 8.

Item 6. Es de destacar la gran mayoría de alumnos que mencionan que no ocurriría nada, lo que demuestra que la atrac-

mente curiosos:

- Una emisora de radio emite ondas sonoras.

- Una emisora de TV emite otras ondas de naturaleza diferente (?).

- La antena juega un papel determinante, ya que es ella la que atrae a las ondas emitidas por la emisora, se debe a que posee una especie de magnetismo.

- La relación con el campo se entiende más bien como la zona del espacio donde es posible captar la señal de la emisora, y no con los campos eléctricos y magnéticos.

Item 16, el nº de respuestas en blanco es del 74,4 %, ello representa que un elevado número de alumnos son incapaces de mencionar al menos tres consecuencias prácticas de la teoría electromagnética. La desconexión entre la ciencia y sus aplicaciones prácticas es evidente, los aspectos técnicos y sociales de la ciencia no se suelen tratar.

Por último señalar que todas las cuestiones relativas al campo magnético (ítems

(% de libros que tratan el tema correctamente)									
ITEM	NIVEL 1		NIVEL 2		ITEM	NIVEL 1		NIVEL 2	
	EGB (N=8)	2ºBUP (N=7)	3ºBUP (N=8)	COU (N=7)		EGB (N=8)	2ºBUP (N=7)	COU (N=8)	3º BUP (N=7)
1	12,5	100	87,5	100	9	0	28,5	37,5	14,2
2	12,5	0	0	0	10	0	42,8	62,5	57
3	0	0	12,5	14,2	11	0	85,8	62,5	100
4	0	0	12,5	14,2	12	0	14,2	25	14,2
5	0	0	0	14,2	13	0	0	12,5	14,2
6	12,5	42,8	62,5	28,4	14	-	-	0	0
7	12,5	28,5	25	100	15	-	-	37,5	28,4
8	0	0	0	28,4	16	-	-	62,5	71,6
					17	-	-	25	28,4

Tabla 1. Resultados del análisis de textos

Item 2. Una de las respuestas que más llama la atención en este ítem es que muchos alumnos consideran que las fuerzas de atracción o repulsión en este caso se deben a una búsqueda de un cierto equilibrio en la Naturaleza, una tendencia natural a la unión para conseguir una mayor estabilidad.

Otros consideran que es un hecho natural y por lo tanto no hay que cuestionarlo, se debe a la naturaleza de los cuerpos.

Sólo algunos alumnos de COU son capaces de mencionar alguna diferencia entre las acciones por contacto y las acciones a distancia, la mayor parte sólo menciona una analogía trivial: "en ambos casos se trata de fuerzas".

En el ítem 4 se ponen de manifiesto algunos errores conceptuales, por ej, el campo eléctrico es el espacio por la que circula electricidad. El campo gravitatorio es donde hay gravedad, un campo magnético es donde hay magnetismo, etc. El

campo gravitatorio para ellos es privativo de grandes masas, de los cuerpos celestes.

Item 9. El nº de respuestas en blanco representa el 68,5 %, lo que muestra de nuevo la falta de discusión cualitativa. Cuestión que vuelve a surgir en el ítem 14, donde la mayoría de los alumnos considera que

la interacción se transmite instantáneamente.

Item 10. El mayor nº de respuestas incorrectas se refiere a que se está poniendo de manifiesto una cualidad propia o natural del imán, este posee un "don" de la Naturaleza. Se refleja uno de los errores conceptuales mencionados anteriormente.

Item 11. La gran mayoría de alumnos localiza la energía potencial en la propia partícula que se encuentra dentro del campo. En concordancia con los resultados obtenidos al analizar los textos.

Item 12. En este ítem se ponen de manifiesto una serie de preconceptos real-

13 y 15) obtienen unos resultados muy pobres, lo que interpretamos como que el campo magnético se deja sin desarrollar prácticamente en Enseñanza Secundaria.

#### 5. Conclusiones finales

Las dificultades en el aprendizaje y comprensión del concepto de campo se han interpretado en este trabajo como consecuencia de un tratamiento didáctico deficiente y confuso. En que la enseñanza se conforma con realizar definiciones operativas y manipulaciones cuantitativas (problemas de cálculo) sin profundizar en el significado de los conceptos, sin relacionarlos con otros y diferenciarlos de ellos, lo que nos llevó a concretar nuestras hipótesis iniciales.

Los resultados obtenidos al analizar los textos, nos permiten

llegar a las siguientes conclusiones:

- Que la inmensa mayoría de los libros

de texto, y por tanto de los profesores (20), se conforman con dar una definición operativa del concepto de campo, sin realizar discusiones sobre el significado físico de los conceptos implicados en éste tema (campo, energía potencial, potencial, etc).

de la realidad y por tanto, se produce una actitud desfavorable hacia su aprendizaje.

- Los alumnos no conocen las implicaciones que la teoría de campos ha tenido en el surgimiento de la Física del siglo XX. Estos resultados confirman las hipóte-

unos resultados. Revista Española de Física (Anales C), vol. 3, nº 1, pp 53-59.

9. Helm, H. 1980. "Misconceptions in Physics amongst South African Students". Phys. Educ. 15. pp 92-97 y 105.

10. Navarro Veguillas, Luis. 1985.

(% de respuestas consideradas correctas y sd)									
ITEM	NIVEL 1 N=135		NIVEL 2 N=131		ITEM	NIVEL 1 N=135		NIVEL 2 N=131	
	(%)	sd	(%)	sd		(%)	sd	(%)	sd
1	18,5	3,3	28	3,7	10	20	3,4	38	4,0
2	22,9	3,6	31	3,8	11a	19	3,3	33	3,9
3	0	0	13	2,7	11b	6	2,0	9	2,3
4	11	2,6	42	4,0	12	2,2	1,2	32	3,8
5	18,5	3,3	49	4,0	13	-	-	0	0
6	22,9	3,6	50	4,1	14	-	-	45	4,1
7	5,1	1,8	2	1,1	15	-	-	9	2,3
8	26	3,7	31	3,8	16	-	-	11	2,5
9	3,7	1,6	8	2,2	17	-	-	0	0

Tabla 2. Resultados del cuestionario de alumnos

- Que en los libros de texto no se muestra la ruptura que el modelo de campos supone con la idea newtoniana de acción a distancia. No se muestran las dificultades que implicaba esta interpretación y como éstas se evitan con la introducción del campo, permitiendo además integrar campos de la física y ampliar las perspectivas de desarrollo científico (radiaciones electromagnéticas, desarrollo de la teoría de la relatividad, cuantificación de los campos para poder explicar los efectos fotoeléctrico y Compton, dualidad onda-corpúsculo, etc. En definitiva su contribución al surgimiento de la Física Moderna del siglo XX).

- Además los libros de texto introducen errores conceptuales, algunos de los cuales el alumno mantendrá a lo largo de sus estudios.

Como consecuencia de ello, hemos comprobado con el cuestionario de alumnos que:

- Aunque las interacciones entre partículas se pueden explicar mediante fuerzas, campos, energías, potenciales o intercambio de partículas virtuales, el alumno hace uso prioritario del concepto de fuerza.

- El campo en todo caso le sirve para calcular la fuerza, por lo tanto es un mero artificio, un lenguaje redundante, incluso más complicado que el anterior y por tanto no se comprende su necesidad ni su significado.

- El campo magnético sufre un tratamiento didáctico, no ya incorrecto, sino superficial o casi nulo.

- Las implicaciones técnicas y sociales de la teoría electromagnética no son conocidas por los alumnos, a pesar de que la sociedad en que viven se fundamenta en gran medida en ella, lo que proporciona una imagen de la Física alejada

de la realidad y por tanto, se produce una actitud desfavorable hacia su aprendizaje. Este trabajo, elaborando materiales que introduzcan el concepto de campo teniendo en cuenta las ideas aquí presentadas, utilizándolos con alumnos y contrastando los resultados con los obtenidos en estos grupos de control.

### Bibliografía

1. Ausubel, D.P. 1978. "Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo". Trillas (México).
2. Berkson, William. 1974. "Las teorías de los campos de fuerza. De Faraday hasta Einstein". Alianza Editorial.
3. Carrascosa J.A. y Gil D.P. 1984. "La metodología de la superficialidad y el aprendizaje de las ciencias". Enseñanza de las Ciencias. nº 2 vol 3. pp 113-120.
4. Driver, R. 1985. "Cognitive psychology and pupil's framework in Mechanics, The many Faces of Teaching and Learning Mechanics" (Proceedings of 1984 GIREP Conference on Physics Education: Utrecht).
5. Gil Pérez, Daniel. 1983. "Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias". Enseñanza de las Ciencias. pp 26-33.
6. Gil D. y Payá J. 1984. "Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física". Actas de las 1ª Jornadas de Investigación Didáctica en Física y Química. (ICE de la Universidad de Valencia). Valencia.
7. Gil D. y Martínez J. 1984. "Problem-solving in Physics: A critical analysis". Research on Physics Education. (Editions du CNRS, Paris).
8. Gil D. Senent F. y Solbes J. 1989. "La Física Moderna en la enseñanza secundaria: Una propuesta fundamentada y

"Fuerzas y campos en la historia de la Física. De Maxwell a Einstein". Mundo Científico. Nº 50. pp 872-877.

11. Novak, J.D. 1982. "Teoría y práctica de la educación". Alianza Universidad.

12. Poon, C. H. 1986. "Teaching field concept and potential energy at Alevel Phys. Educ. Nº 21. pp 307-316.

13. Sharman, N. L. 1987. "Field versus action-at-a-distance in a static situation". Am. J.Phys. Vol 56. Mayo 1988. pp 420-423.

14. Solbes J., Bernabeu J., Navarro J. y Vento V. 1988. "Dificultades en la enseñanza aprendizaje de la Física Cuántica". Revista Española de Física. Anales C. Vol. 2 nº 1. pp. 22-27.

16. Solbes J. y Vilches A. 1989. "Interacciones ciencia-técnica-sociedad: un instrumento de cambio actitudinal". Enseñanza de las ciencias. nº 1 vol 7. pp 14-20.

17. Solís R.V. 1984. "Ideas intuitivas y aprendizaje de las ciencias". Revista Enseñanza de las Ciencias. nº 2. vol 2. pp 83-90.

18. Strube, Paul. 1988. "The presentation of energy and fields in physics texts-a case of literary inertia". Phys.Educ. Nº 3. pp 366-371.

19. Yager R.E. y Penich J.E. 1983. "Analysis of the current problems with school science in the USA. European Journal of Science Education, 5, pp 463-469.

20. Yager R.E. y Penich J.E. 1986. "Perception of four age groups towards science classes, teachers and the values of science". Science Education, 70, pp 355-363.

\*Programa de Innovación y Reforma Educativa. Valencia.

\*\*I.B. José Ibañez Martín. Teruel.

# INDICE

# SUMMARY

<b>Editorial:</b> La profesión del físico .....	<b>3</b>	<b>Editorial:</b> The profession of physicist .....	<b>3</b>
<b>La vida de la física</b>		<b>The life of physics</b>	
- Entrevista con Ilya Prigogine .....	<b>4</b>	- Interview with Ilya Prigogine .....	<b>4</b>
<b>Temas de física</b>		<b>Topics in physics</b>	
- La teledetección de los océanos desde el espacio: principios físicos y aplicaciones. <i>M. Cantón Garbín y A. Hernández Guerra</i> .....	<b>8</b>	- Ocean teledetection from space: physical principles. <i>M. Cantón Garbín y A. Hernández Guerra</i> .....	<b>8</b>
- Orden cristalino III. Red puntual. <i>F. Sanz Ruiz</i> .....	<b>15</b>	- Crystalline order III. Point net. <i>F. Sanz Ruiz</i> .....	<b>15</b>
- Difractómetros y correladores. Detección óptica de formas. <i>A. Carnicer, I. Juvells y S. Vallmitjana</i> .....	<b>19</b>	- Diffractometers and correlators. Optical detection of forms. <i>A. Carnicer, I. Juvells y S. Vallmitjana</i> .....	<b>19</b>
- Iones pesados enfriados por electrones y su almacenamiento. Nuevo escenario para la experimentación en Física. <i>O. Gúzman y J. L. Vallejo</i> .....	<b>25</b>	- Stored electron-cooled heavy ions -new stage for experimentation in physics. <i>O. Gúzman y J. L. Vallejo</i> .....	<b>25</b>
<b>Enseñanza</b>		<b>Physics teaching</b>	
- Formulación algebraica de electromagnetismo. <i>C. Sánchez del Río</i> .....	<b>31</b>	- Algebraic formulation of electromagnetism. <i>C. Sánchez del Río</i> .....	<b>31</b>
- Análisis de la introducción del concepto de campo. <i>J. Solbes y J. Martín Quero</i> .....	<b>34</b>	- Analysis of the introduction of the field concept. <i>J. Solbes y J. Martín Quero</i> .....	<b>34</b>
- Holografía: Conceptos básicos, Materiales de Registro y Aplicaciones. <i>A. Beléndez, I. Pascual y A. Fimia</i> .....	<b>40</b>	- Holography: Basic concepts, recording materials and applications. <i>A. Beléndez, I. Pascual y A. Fimia</i> .....	<b>40</b>
<b>Notas históricas</b>		<b>Historical notes</b>	
- La Ciencia en China. <i>L. Garrido</i> .....	<b>47</b>	- Science in China. <i>L. Garrido</i> .....	<b>47</b>
- Historia de las teorías de la evaporación. Parte I: De la Antigua Grecia al Siglo XVI. <i>J. Delegido, V. Caselles y E. Hurtado</i> .....	<b>51</b>	- History of the theories of evaporation. Part I: From the Greek Antiquity to the 16th century. <i>J. Delegido, V. Caselles, E. Hurtado</i> .....	<b>51</b>
<b>Libros</b>		<b>Books</b>	
- La Física y sus libros. <i>J. M. Sánchez Ron</i> .....	<b>58</b>	- Physics and its books. <i>J. M. Sánchez Ron</i> .....	<b>58</b>
- Reseñas .....	<b>58</b>	- Reviews .....	<b>58</b>
- Libros recibidos .....	<b>59</b>	- Received books .....	<b>59</b>
<b>Noticias</b> .....	<b>60</b>	<b>News</b> .....	<b>60</b>
<b>Reuniones científicas</b> .....	<b>63</b>	<b>Meetings</b> .....	<b>63</b>
<b>Entropías y heterodoxias</b>		<b>Entropies and heterodoxies</b>	
- El principio de la libertad. <i>A. Tiemblo</i> .....	<b>64</b>	- The principle of freedom. <i>A. Tiemblo</i> .....	<b>64</b>

## Propósito

Esta revista está dedicada a aspectos académicos, pedagógicos y sociales de la física. Pretende servir de puente de comunicación entre sus distintos sectores en España, ofreciendo un canal de información, discusión y debate sobre sus problemas específicos y sobre su situación en el mundo. De manera especial intentará conseguir dos objetivos. Por un lado, acercar la enseñanza y la investigación, facilitando el contacto de los profesores de física, toda clase de cursos, con las nuevas ideas y desarrollos. Por otra, terminar con la tajante separación actual entre los que trabajan en tareas académicas y los que se dedican al mundo de la empresa y la producción. Por ello, se dirige a todos los físicos españoles, profesores, estudiantes, investigadores, físicos en empresas privadas, etc.

Se publicarán artículos de física y sobre física de interés informativo o educativo, incluyendo áreas limítrofes como astronomía, geofísica, biofísica, etc. También sobre la relación entre la ciencia y la sociedad, especialmente sobre el papel de la física en la sociedad y la economía española. Se valorarán como características especialmente interesantes de los artículos que se publiquen, la capacidad de promover y facilitar información sobre cualquier aspecto de la física española o su valor pedagógico en cursos de física o como complemento de ellos, tanto para profesores como para alumnos, en enseñanza media, básica o universitaria.

Se invita a someter artículos para su publicación a todos los miembros de la comunidad física y a todos los interesados en sus problemas.

## Guía para autores

Los artículos deberán estar redactados con lenguaje poco técnico y con el mínimo uso de matemáticas de manera que puedan ser leídos fácil-

mente por los que no son especialistas en la materia. No deben exceder de 4.000 palabras, pero se ruega a los autores que intenten ser más breves lo que aumentará la probabilidad de la aceptación de sus artículos. Normalmente actuarán como árbitros de publicación los miembros del Consejo editorial, pero se solicitará la opinión de otros expertos cuando sea conveniente.

También se publicarán cartas, notas, críticas de libros o comentarios, así como noticias.

Normalmente el idioma de la revista es en castellano, pero ocasionalmente se podrán publicar artículos en inglés u otras lenguas.

Los autores deben incluir, al enviar sus contribuciones:

Dos copias del trabajo, incluyendo cada una:

(1) *Página de portada*, con el título del artículo, nombre del o de los autores e Institución donde se ha realizado el trabajo con su dirección actual y la traducción inglesa del título.

(2) *Un resumen* de menos de 10 líneas en castellano y otro en inglés.

(3) *Texto a doble espacio*, preferentemente en papel tipo A-4. En la última página se incluirá la lista de referencias en orden alfabético de autores.

(4) *Figuras*, con lista de sus pies, y tablas. En el texto se indicará la situación más conveniente de cada una de ellas.

Se agradecería una tercera copia del trabajo.

En la medida de lo posible se ruega que, además del artículo escrito a máquina, se envíe un disco de ordenador con un archivo que contenga el texto, escrito con un procesador compatible con IBM o Macintosh. Esto permite evitar errores y facilitar el proceso de publicación. No obstante quienes lo prefieran pueden enviar simplemente el texto escrito. También se pueden transmitir mensajes o incluso el texto completo de los artículos en TEX por correo electrónico a la cuenta bitnet REF AT EMDUCM 11.