

UN ESTUDIO PILOTO SOBRE REPRESENTACIONES MENTALES, IMÁGENES, PROPOSICIONES Y MODELOS MENTALES RESPECTO AL CONCEPTO DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN ALUMNOS DE FÍSICA GENERAL, ESTUDIANTES DE POSTGRADO Y FÍSICOS PROFESIONALES¹

Ileana Greca

Marco A. Moreira [moreira@if.ufrgs.br]

Instituto de Física, UFRGS
Caixa Postal 15051, Campus
91501-970 Porto Alegre, RS

Resumen

Un estudio piloto fue conducido con el objetivo de investigar en que nivel de representación mental estudiantes y físicos operan con el concepto de campo electromagnético cuando resuelven problemas y cuestiones teóricas. Nuestra base teórica es la teoría de representaciones mentales de Johnson-Laird, de acuerdo con la cual existen por lo menos tres clases de representaciones: modelos mentales, proposiciones e imágenes. Físicos y estudiantes de Física fueron entrevistados acerca de como utilizaban el concepto de campo electromagnético. Se presentan aquí los resultados preliminares.

Palabras-clave: representación mentales, campo electromagnético, Física General.

Abstract

A pilot study was conducted with the objective of investigating at what level of mental representation students and physicists operate regarding the concept of electromagnetic field when they solve problems and theoretical questions. Our theoretical basics lies in Johnson-Laird's theory of mental representations according to which there are at least three major kinds of such representations: mental models, propositions and images. Physicists and physics students were interviewed concerning how they use the concept of eletromagnetic field when they do physics. Preliminary findings are reported in this paper.

Key words: mental representación, eletromagnetic field, General Physics.

Introducción

Creemos que la investigación en Enseñanza de la Física debe ser fundamentada teóricamente. Esta postura es compartida por muchos investigadores del área que han buscado en la Psicología o en las llamadas teorías de aprendizaje, referenciales teóricos para sus investigaciones. En esa búsqueda pasamos por el behaviorismo y llegamos al cognitivismo constructivista de hoy. En la línea constructivista hemos trabajado mucho con la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel y Novak (1983; Moreira y Masini, 1982; Moreira y Buchewitz, 1993). Sin embargo hemos llegado a un punto en el cual esa teoría ya no es suficiente para respaldar nuestras cuestiones de investigación. Más aún, parece que algo

¹ Versión revisada y ampliada de una comunicación presentada en el "IV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física", Florianópolis, 26 a 28 de maio de 1994 y en el "II Simposio de Investigación en Enseñanza de la Física", Buenos Aires, 4 a 6 de agosto de 1994.

semejante puede estar pasando con investigadores que han trabajado con otras teorías constructivistas. Tanto es así que ya se comienza a investigar en el marco de la llamada Ciencia Cognitiva, un campo interdisciplinar con contribuciones de la Psicología Cognitiva, de la Neurociencia, de la Lingüística, de la Ciencia de la Computación y de la Filosofía (Stillings et al., 1987).

Sin embargo, nos parece poco realista un referencial tan amplio. Nos quedamos entonces con la Psicología Cognitiva en la tentativa de encontrar un referencial teórico que nos satisfaga en términos de fundamentar el estudio que nos propusimos: representaciones mentales sobre el concepto de campo. En particular, dentro de la Psicología Cognitiva, optamos por la teoría de Johnson-Laird (1983).

A seguir, presentaremos nociones básicas de la Psicología Cognitiva y de la teoría de Johnson-Laird. Después seguiremos con la descripción de la investigación propiamente dicha y concluiremos con la presentación de algunos resultados preliminares.

Algunos conceptos de la Psicología Cognitiva

Alrededor de 1956 surge lo que se llama Psicología Cognitiva, tanto en respuesta al fracaso del behaviorismo como por urgentes necesidades tecnológicas provenientes de la inteligencia artificial.

Su objetivo es hacer una ciencia objetiva de la mente (manteniendo así cierta continuidad con el behaviorismo), pero afirmando que es posible estudiar esa "caja negra" de la mente en un nivel propio. Rivière (1987) dice que lo más general que podemos decir de la Psicología Cognitiva es que remite la explicación de la conducta a entidades mentales, procesos y disposiciones de naturaleza mental, para las que reclama un nivel de discurso propio.

El presupuesto teórico de las distintas ramas de la Psicología Cognitiva parte de una analogía con un sistema computacional. O sea, la mente como un sistema procesador de informaciones, análogo al ordenador. Ordenador tomado en un sentido amplio, no del tipo que conocemos y utilizamos hoy, sino pensado como un dispositivo que transforma informaciones (energía) en símbolos, símbolos en nuevos símbolos y, eventualmente, esos símbolos en acciones (o sea, nuevamente energía). Resumiendo, para los psicólogos cognitivos la mente es un sistema simbólico. La realización de funciones cognitivas complejas (percepción, memoria, lenguaje, pensamiento) exige que el sistema cognitivo sea capaz de representar y utilizar de manera adecuada información estructurada. Representará esa información de manera simbólica, así como el ordenador traduce (o simboliza), por ejemplo, las palabras que digitamos en él en cadenas de unos y ceros. La mente puede entonces construir símbolos y manipularlos en distintos procesos cognitivos. Dado que el número de símbolos distintos correspondientes a imágenes, recuerdos, creencias, es potencialmente infinito, el cerebro, no pudiendo contener un número infinito de símbolos preexistentes, debe generar esa variedad de símbolos de un conjunto finito. Es por eso que, de manera análoga al ordenador, ese sistema incluirá una serie de símbolos primitivos y un conjunto de reglas para su utilización, que también serán símbolos, definiendo así un determinado lenguaje de la mente.

Representaciones mentales y Teoría de los Modelos Mentales de Jonhson-Laird (1982, 1990)

Los símbolos primitivos y las reglas forman una especie de lenguaje de la mente, expresado a través de las representaciones proposicionales. Estas capturan los conceptos que están por detrás de una situación, independientemente del lenguaje natural. Así las frases "el libro está sobre la mesa" o "the book is on the table", serán representados mentalmente de manera que nos permitan entender la existencia de dos objetos - libro y mesa - y de una relación de posicionamiento entre ambos - sobre. Ésto no quiere decir que las representaciones proposicionales sean cadenas de palabras, sino cadenas de algún tipo de símbolos mentales primitivos.

Muchos psicólogos han considerado que la representación proposicional es la única forma representacional existente y, más aún, que sus reglas de manipulación, se basan en el cálculo formal permitiendo así que la mente "trabaje" con una lógica formal², en acuerdo con lo postulado por la Escuela de Ginebra.

El problema de considerar que la mente trabaja lógicamente es la imposibilidad de explicar tanto por qué las personas realizamos sistemáticamente inferencias que no son válidas formalmente así como la fuerte influencia del contenido en las mismas. Por otra parte, existen varias lógicas diferentes y cualquiera de ellas puede ser formulada de distintas maneras. Sería preciso saber cuál o cuáles son las que los seres humanos tenemos internalizadas, además de la naturaleza de su formulación mental (Johnson-Laird, 1987).

Johnson-Laird plantea que existen por lo menos tres formas en la que podemos codificar, representar mentalmente información: las representaciones proposicionales, los modelos mentales y las imágenes (auditivas, visuales, táctiles).

Para él, el punto central de la comprensión está en la existencia de un "working model" en la mente de quien comprende. Cuando una persona explica, con éxito, alguna cosa a otra persona, da una especie de "manual" o "receta" para la construcción de un "working model". Naturalmente, esta guía puede no servir para un tercer individuo, pues depende del conocimiento y la habilidad del sujeto para comprenderlo. En la mayoría de los campos de especialización existe un consenso sobre lo que vale como explicación satisfactoria.

Los modelos permiten a los individuos hacer inferencias y predicciones, entender los fenómenos, decidir las acciones a tomar y controlar su ejecución. Este es el sentido de "working model".

Um modelo puede ser definido como una representación de un cuerpo de conocimientos que satisface las siguientes condiciones:

- a - su estructura no es arbitraria; corresponde a la estructura de la situación que representa. Representa un estado de cosas o hechos reales o imaginarios;
- b - puede consistir de elementos que corresponden a entidades perceptibles; en este caso pueden ser concebidos como una imagen, perceptible o imaginaria;

² En la Psicología Cognitiva, ésto surge de tomar al pie de la letra la metáfora del ordenador. Si pensamos que el ordenador tiene estados de 1 y 0, éstos serían valores de Verdadero y Falso de la lógica. También es cierto que los primeros modelos neurales atribuían a la neurona sólo dos estados posibles: activado y desactivado.

c - no contiene variables, pues representa entidades específicas. (Johnson-Laird, 1990)

La formulación moderna del concepto de modelo mental es debida a Kenneth Craik (1943). Para él, los seres humanos traducían eventos externos en modelos internos y razonaban por manipulación de estas representaciones simbólicas, retraduciendo luego los símbolos resultantes en acciones o en evaluaciones de hechos externos.

Los modelos, que pueden ser construídos como resultado de la percepción, de la interacción social o de la experiencia interna, no emplean reglas de inferencia de ninguna clase (por eso no contienen variables) - ni formal ni de contenido específico - pero asumen que el razonamiento depende sólo de la manipulación de esos modelos, lo que implica que es posible razonar sin que el proceso involucre necesariamente una lógica formal.

Para hacer inferencias representamos internamente situaciones concretas - de mundos imaginarios o reales - y evaluamos, en función de ellas, la validez de nuestro razonamiento. De esta forma, es posible pensar que cuando cometemos errores en nuestras inferencias sea por causa de no haber puesto a prueba los modelos que creamos. Es posible también que el descubrimiento de esta tendencia al error haya llevado a la formulación de las leyes de la lógica (Johnson-Laird, 1987). Teorías computacionales con estas características han sido desarrolladas en varios dominios. (De Kleer and Brown, 1981; Johnson-Laird, 1985)

Es posible pensar que la capacidad de formar modelos mentales y razonar mediante ellos provenga de la evolución de la habilidad de percepción de los organismos con sistema nervioso. Los seres humanos no aprehendemos el mundo directamente sino que lo hacemos a través de las representaciones que tenemos de él, pues la percepción implica la construcción de modelos mentales.

Por ejemplo, si de noche caminamos por el campo es posible que percibamos figuras fulgurantes en nuestra frente. Dependiendo de los modelos que tengamos podemos pensar que son fantasmas, extraterrestres o emanaciones de gas metano de osamentas.

Para Johnson-Laird existen además otros dos tipos de representaciones mentales: las imágenes y las representaciones proposicionales.

Representaciones proposicionales: en un párrafo anterior destacamos que para los psicólogos cognitivos consistían en una cadena de símbolos a partir de un vocabulario finito, con reglas sintácticas arbitrarias y aún desconocidas. Los filósofos en general consideran las proposiciones como objetos conscientes del pensamiento con los cuales razonamos, dudamos, creemos. Johnson-Laird acepta esta posición: para él una representación proposicional es una representación mental que pueda ser expresable verbalmente³.

Entender una proposición es saber como sería el mundo si ella fuese verdadera. De esta forma, serán interpretadas a la luz de los modelos mentales que poseamos. Será evaluada como verdadera si puede ser inferida de los modelos de mundo, reales o imaginarios, disponibles.

³ Así como los lenguajes naturales tienen una sintaxis que no es posible de ser expresada completamente por reglas formales, de la misma manera las representaciones proposicionales poseerían una sintaxis cuyas reglas no tienen porque ser necesariamente las de la lógica formal.

Imágenes: corresponden a "visuales" del modelo. Producto tanto de la percepción como de la imaginación, representan aspectos perceptibles de los objetos correspondientes del mundo real. Son altamente específicas.

De manera similar con las imágenes, los modelos incluyen varios grados de estructura analógica, pudiendo ser completamente analógicos o parcialmente analógicos y parcialmente proposicionales.

Las imágenes comparten los atributos de los modelos, pero, siendo sólo una "visual" del modelo, no poseen capacidad explicativa. Una figura "vale por mil palabras", una proposición "vale un número infinito de imágenes" que a su vez son "visualizaciones" de modelos.

Veamos un ejemplo en donde sea posible distinguir las tres formas representacionales. Si se les pidiese que pensasen en un triángulo, cada lector pensaría, o formaría, una imagen de un triángulo específico - rectángulo, isósceles, etc.. Sin embargo, el modelo subyacente debe contener las relaciones necesarias para definir un triángulo en general, de tal manera que si se les pidiese específicamente que imaginen uno equilátero lo podrían hacer. Por otra parte, si se afirmase que "la suma de los ángulos interiores de un triángulo es igual a 270o", deberíamos ser capaces de evaluarla con respecto al modelo, pudiendo entonces decidir si es falsa o verdadera.

Los modelos son más fáciles de recordar que las proposiciones, quizás porque requieren mayor cantidad de procesamiento para ser construídos (Craik y Tulving, 1975). A su vez, las imágenes - visualizaciones del modelo - actúan como "chunks", grupos significativos de información, que posibilitan trabajar con más información al mismo tiempo, lo que es esencial cuando nos enfrentamos a situaciones complejas en las que se debe manejar simultáneamente una gran cantidad de contenidos relevantes (Medin & Ross, 1992).

Un modelo de un dominio puede ser incompleto, y sin embargo ser útil (Norman, 1983, Johnson-Laird, 1983). De hecho, no existe modelo mental completo para cualquier fenómeno empírico (Johnson-Laird, 1983). La utilidad de un modelo no aumenta necesariamente con el incremento de informaciones, más allá de cierto nivel. Un modelo erróneo puede llevar a conclusiones erróneas y a ilusiones cognitivas persistentes. Pero no siempre son fuente de error, pudiendo ser algunas veces guías para modelos más sofisticados.

Johnson-Laird argumenta que los modelos mentales y las imágenes son como lenguajes de programación de alto nivel para la mente, en el sentido que liberan a la cognición humana de operar al nivel de "código de máquina", es decir a nivel proposicional. Si bien, en último análisis, el ordenador trabaja con cadenas de unos y ceros, y un nuevo lenguaje no aumenta el poder computacional del mismo, sin embargo facilita la tarea del programador, que puede resolver un número mayor de problemas más fácilmente.

Modelos mentales y aprendizajes en Física

Entender un fenómeno físico es saber lo que lo causa, lo que resulta de él, como iniciarlo, influenciarlo o evitarlo. En el lenguaje de Johnson-Laird, es tener un "working model" de ese fenómeno.

Pensar sobre y en términos de una teoría científica requiere la construcción de modelos de las entidades y procesos involucrados.

Los alumnos traen al aula los modelos, básicamente útiles aunque no necesariamente verdaderos desde el punto de vista científico (Pozo, 1993; Duit, 1993), con los cuales ya entendían, imaginaban, explicaban el mundo antes de ir a la escuela. Esos modelos causales simples sobre fenómenos físicos están caracterizados en general por tres principios (Johnson-Laird, 1990):

- a - en el dominio determinista, todos los eventos tienen causa;
- b - las causas preceden a los eventos;
- c - la acción directa sobre un objeto es la principal causa para cualquier cambio que ocurra en él.

Estos modelos, que llevan implícitos también modelos de como construir modelos y que ciertamente son más que concepciones alternativas aisladas, son formas de comprender el mundo.

La capacidad para entender una teoría científica estará determinada por la capacidad del alumno de formar modelos que incluyan las relaciones fundamentales de la teoría y de los cuales puedan extraer explicaciones y predicciones que estén de acuerdo con las concepciones aceptadas científicamente.

Esos modelos podrían formarse tanto a nivel proposicional -manejo verbal de definiciones y relaciones matemáticas - como a un nivel más cualitativo en forma de imágenes - visuales, kinestésicas, etc. Podría ocurrir también que no se formasen esos modelos. En este caso se trabajaría a nivel de representaciones proposicionales, sólo con proposiciones inconexas. Que el alumno "sepa" las definiciones y/o las fórmulas, no significa necesariamente que haya construido un modelo, o sea, puede no ser capaz de interpretar esas representaciones proposicionales a la luz de un modelo. Para que exista modelo, el alumno debe ser capaz de explicar, de preveer. En nuestro trabajo (Greca, 1995) definimos que el alumno trabaja sólo a nivel proposicional cuando no es capaz de comprender (explicar) la estructura conceptual de una teoría y los fenómenos vinculados a ella. Aún más, comprender la estructura matemática de una teoría - o tener un modelo de la estructura matemática - no significa tener un modelo físico de esa teoría o sea comprender la física embutida en sus formulaciones matemáticas.

Por otra parte, cuando se les presentan a los alumnos proposiciones - definiciones, leyes, fórmulas - éstas serán interpretadas como verdaderas si encajan dentro de los modelos de mundo que ya se posean. El principio de inercia, por ejemplo, implica consecuencias que no pueden ser deducidas y que no son compatibles con el modelo de mundo con rozamiento que los alumnos en general tienen. Lo aprenderán de memoria, olvidándolo luego que deja de serles útil para pasar en la asignatura o en situaciones problemáticas en las que no pueden aplicarlo textualmente.

Si pensamos en términos de estrategias de cambio conceptual, será difícil que apenas creando insatisfacción consigamos que los alumnos aprendan las estructuras conceptuales de la Física. En el mejor de los casos, podemos "perturbar" el modelo existente, generando un híbrido que tampoco es la concepción compartida científicamente (Greca, 1995). La construcción de modelos exige más que una simple reordenación, involucra una visualización

diferente de los fenómenos⁴ y la aceptación de la existencia de mundos ideales donde las leyes físicas tienen sentido. Esto no significa, por otra parte, que el alumno deba "destruir" sus antiguos modelos muchos de los cuales son bastante eficientes - sino que es posible que ambos coexistan, aprendiéndose entonces a diferenciar su uso contextual (Moreira, 1994).

Resulta claro que una enseñanza en donde las teorías aparezcan como estructuras acabadas, presentando fenómenos, leyes y sus expresiones matemáticas de acuerdo con rigurosos criterios lógicos deductivos y evaluando sólo el manejo eficiente de fórmulas, difícilmente facilitará la construcción de modelos, impidiendo así su comprensión. Toda la literatura sobre concepciones alternativas es prueba de este fracaso (Duit, 1993).

Para comenzar a testar estos planteos, elegimos el concepto de campo electromagnético, concepto llave en Física, difícilmente comprendido por los alumnos. Una de las razones para su elección es que es un concepto sobre el que los alumnos tienen poca o nula experiencia anterior, permitiéndonos así evaluar durante la instrucción, las formas representacionales usadas en la adquisición de un nuevo concepto.

Además, este concepto es presentado en la literatura desde un punto de vista eminentemente formal. Sin embargo, su aparición histórica estuvo vinculada a imágenes sin ningún tipo de formalismo (Faraday) y su reformulación más amplia y la comprensión profunda de las ecuaciones de Maxwell vinieron de la mano de las imágenes kinestésicas y de las experiencias imaginarias de Einstein (Nersessian, 1992). Nos preguntamos hasta qué punto una presentación puramente formal de la teoría favorece la construcción de modelos sobre el electromagnetismo por parte de los alumnos, siendo que el propio Maxwell (1873) al presentarla a sus colegas se detiene largamente en discusiones cualitativas de los modelos que llevaron a su construcción.

Cuestiones básicas

En este trabajo preliminar, vamos a intentar categorizar los alumnos de acuerdo trabajen en los distintos niveles de representación mental. Por otro lado, trabajando con los físicos y estudiantes de posgrado en Física intentamos ver la manera en que están formadas sus propias representaciones y la forma en que las manipulan.

De manera específica, nos propusimos buscar respuestas para las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué tipo de representación mental (proposiciones, imágenes, modelos) forman los alumnos sobre el concepto de campo electromagnético?

- ¿Qué representaciones mentales tienen estudiantes de posgrado en Física y físicos profesionales sobre tal concepto?

⁴ Larkin (1983) señala que una de las diferencias en el razonamiento de novatos y expertos es que los modelos de los primeros relacionan objetos del mundo y simulan procesos que ocurren en tiempo real, mientras que los otros construyen modelos ideales que representan relaciones y propiedades altamente complejas.

- ¿ Existen diferencias cualitativas entre ellos? ¿ De qué manera cada uno de ellos utiliza las representaciones mentales al resolver problemas?

- En el caso de alumnos de Física General, ¿ existe relación entre el tipo de representación mental que usan y el desempeño en la resolución de problemas? Es decir, suponiendo que los modelos son más abarcativos que las imágenes y las proposiciones, ¿ será que los alumnos que llegan a la construcción de modelos aprenden de manera más significativa o construyen mejor el concepto?

- Dado que la eficiencia en la resolución de problemas tradicionales es en general el parámetro de medida para la aprobación de la asignatura, ¿ será que los alumnos desarrollan estrategias heurísticas basadas en el uso prioritario de fórmulas, impidiendo un análisis más cualitativo y por consiguiente, la formación de modelos físicos?

- ¿ Qué interés tiene el uso prioritario de imágenes en términos de aprendizaje?

- ¿Cuál es la influencia del material instruccional en la construcción de modelos?

En términos metodológicos, tendríamos también una pregunta importante:

- ¿ La metodología utilizada sirve para detectar las representaciones mentales?

Metodología

El método utilizado en líneas generales es cualitativo: son entrevistas de lápiz y papel, no estructuradas, y registros de comentarios de los estudiantes durante las clases.

Trabajamos con tres grupos diferentes:

- a - estudiantes de Ingeniería, que han visto por primera vez, en la Universidad, Electricidad y Magnetismo; suponemos que están en situación de formación del concepto de campo electromagnético (N=31);
- b - estudiantes de posgrado de un curso de Física - Maestría y Doctorado - de distintas áreas, que suponemos poseen un modelo de campo electromagnético (N=7);
- c - físicos profesionales, también de distintas áreas - tanto teórica como experimental - que utilizan habitualmente el concepto de campo (N=5);

El primer grupo recibió instrucción bajo la modalidad de Plan Keller (Moreira, 1983): los alumnos estudian solos, pueden hacer consultas en el aula y van avanzando en el curso conforme aprueben una evaluación de cada unidad, de acuerdo al libro de texto (Halliday y Resnick, 1993). Existe un sistema de monitores (alumnos más avanzados) que colaboran con el profesor.

El seguimiento fue por lo tanto individual. Las preguntas se hicieron generalmente durante la evaluación de las pruebas - en la discusión de los problemas. No se tomó nota

delante de ellos, sino que luego se registraron los datos más interesantes. Además, todas las pruebas fueron consideradas registros de los eventos.

Algunas veces se pidió que acompañasen las explicaciones con algun dibujo, si lo creían necesario.

En la última evaluación, que no correspondía a una integración de la asignatura, se los entrevistó de manera más extensa, sobre el concepto de campo electromagnético que habían alcanzado, y su forma de trabajo.

Con el segundo y tercer grupo, las preguntas se centraron en el modelo que poseen de campo y de qué manera lo utilizan al trabajar con los fenómenos físicos que estudian.

Asimismo, los físicos profesionales fueron consultados acerca de cómo creen ellos que deben ser las primeras aproximaciones con este concepto.

Resultados preliminares

En este trabajo presentaremos solo resultados preliminares sin ninguna pretensión de generalización. Nuestro estudio respecto a modelos mentales en Física empezó con la investigación piloto que describimos aquí y siguió en otra más controlada en el segundo semestre de 1994 con la misma población blanco pero con otro enfoque instruccional. Esos dos estudios son parte de un proyecto más amplio (Moreira et al, 1994) en el cual nos proponemos trabajar en los próximos tres años.

Del análisis del material recogido sobre los alumnos (evaluaciones, entrevistas y notas de campo), fueron establecidas las siguientes categorías:

- ? Categoría A: Forman modelo de campo electromagnético. (N=7)
- ? Categoría B: No forman modelo de campo electromagnético. (N=14)

Nota: Los alumnos que no concluyeron la asignatura no fueron incluidos en las categorías anteriores. (N=10)

La primera categoría puede ser subdividida en:

- A.1: Modelos básicamente proposicionales.
- A.2: Modelos básicamente analógicos.

Las características del **grupo A** son:

- ? Entendieron claramente el concepto de campo electromagnético.
- ? Pueden integrar coherentemente los distintos aspectos de la asignatura.
- ? Resuelven eficientemente los problemas planteados.
- ? Pueden dar "vuelta" el curso, es decir a partir de las propiedades del campo electromagnético, redefinir las propiedades de la electrostática y del magnetismo.
- ? Pueden dar un concepto global de campo, que incluye campo gravitacional.

Subgrupo A.1

- Trabajan sólo a partir de fórmulas y definiciones. Ejemplo:

"Me es imposible imaginar las líneas de campo" (Christiane)

"Defino el campo electromagnético a partir de las ecuaciones de Maxwell. Ahora podría dar vuelta todo el curso, empezando por ellas, y deducir el resto... Existe una analogía sorprendente entre el campo eléctrico y magnético. Ambos son leyes de inverso del cuadrado..." (sigue describiéndolos a partir del análisis de las fórmulas). (Christiane)

- Frente a un problema, determinan los conceptos involucrados, recurren a las fórmulas que consideran adecuadas y reinterpretan luego los resultados.

- Tienen un buen dominio matemático.

Subgrupo A.2

- Imaginan las líneas de fuerza del campo eléctrico y magnético, de manera similar a lo que aparece en los libros. Se apoyan en las representaciones de campo eléctrico, y las adaptan para las de campo magnético; por ejemplo:

"Consigo entender B pensando en las líneas de campo, como las del eléctrico, y me resulta más fácil que el campo eléctrico" (Paulo).

"En el campo electromagnético, puedo imaginar líneas de fuerza, en donde las componentes son inseparables" (João).

"El campo magnético tiene un tratamiento similar al del campo eléctrico, pero ahora pensando que las cargas generadoras están en movimiento" (Leandro)

- Para definir los conceptos, utilizan dibujos y/o las manos.

- En general, cuando se les pide comentar algunas de las leyes estudiadas, recurren a ejemplos:

"La interacción entre los campos? Bueno, si miramos lo que ocurre en un circuito LC..." (Leandro).

- Frente a un problema:

"Siempre hago antes una figura - usando las líneas de fuerza, identificando las direcciones de los vectores. Coloco entonces los datos y después busco las fórmulas. Si no hago así, no da" (João).

"En los problemas, las fórmulas vienen después. Primero "miro" la situación del problema" (Leandro)

- En algunos casos, a pesar de no saber resolver matemáticamente los problemas, visualizan la solución a partir de las imágenes que construyen. Por ejemplo:

"No sé resolver esa integral, pero el campo resultante en esa región es..." (Paulo).

Las características del **grupo B** son:

- No son capaces de integrar el concepto de campo electromagnético.

- Algunos distinguen más o menos bien las características de campo eléctrico y magnético, utilizando en general las fórmulas y definiciones que aparecen en los libros. Tienen definiciones "sueltas":

"La relación es la fórmula..." (Claudia)

"En el libro dice que..." (Magda)

- No utilizan imágenes:

"En los problemas busco las fórmulas. No me preocupa visualizar la situación" (Guilherme).

"Bueno, en este circuito RLC, no sé lo que pasa. Tengo las fórmulas, alguna me tiene que servir" (Ariel).

"Cuando encuentro las ecuaciones, el problema sale" (Vanisse).

- Al finalizar el curso, consultados específicamente si tenían alguna imagen de campo eléctrico vuelven a las que tenían al principio del curso:

"Bueno, es como una nube en torno a la carga..." (Vanisse).

- Algunos mantuvieron sólo la imagen de campo uniforme generado por dos placas paralelas cargadas, lo que les impidió entender el concepto de flujo. Sin embargo consiguieron finalizar el curso.

- Los alumnos que abandonaron el curso, lo hicieron luego de ser reprobados repetidamente en las evaluaciones que correspondían a la Ley de Gauss (flujo eléctrico).

Existieron tres casos que podríamos clasificar de intermedios entre las dos categorías. Si bien usaron imágenes de campo eléctrico y magnético y evidenciaron poseer por lo menos un modelo de campo eléctrico, no consiguieron construir un modelo de campo electromagnético. Ejemplos de sus palabras:

"Juego con las fórmulas y con la visualización del problema" (Alessandro).

"No veo la Física de las ecuaciones de Maxwell. Estoy recordando sólo las fórmulas. Antes me imaginaba lo que estaba pasando" (Gerson).

"Me es difícil imaginar el campo magnético; menos el electromagnético" (Guilherme)

En el grupo de físicos y estudiantes de posgrado entrevistados, se repiten las características de la categoría A.

Algunos consideraron que su modelo actual es exclusivamente proposicional.

"Entiendo el problema cuando veo las ecuaciones... en Física Cuántica tener una imagen de campo, o trabajar con ellas, es completamente antieconómico" (V.H.).

"Cuando se tiene el formalismo no es necesario imaginar como es el campo" (R.S.).

"El concepto de campo tiene un carácter básicamente matemático" (C.S.).

Para otros, resulta indispensable tener una visualización del campo.

"No sé adónde voy sólo con el formalismo" (M.B.).

"Mis modelos fueron evolucionando de los diagramas de flechas que aparecen en los libros, a modelos de campo electromagnético como "gas vectorial" (F.R.).

Como conclusiones preliminares, podríamos destacar:

- La técnica utilizada sirve para detectar el tipo de representaciones mentales de los alumnos.
- Los modelos resultarían de una articulación de distintos conceptos que permitirían entender significativamente el fenómeno, explicar, predecir, y por lo tanto resolver los problemas eficientemente.
- Cuando no se construyen modelos, los conceptos no serían aprendidos significativamente.
- No existirían diferencias cualitativas en la forma de utilización de modelos entre los alumnos que los conseguieron construir y los físicos.
- En general, el material instruccional - libros, listas de ejercicios centradas en utilización de fórmulas - no facilitarían la construcción de modelos.

Quedan pendientes una serie de preguntas:

- ¿ Facilitan - y en qué condiciones - los dibujos presentados en los libros de texto a la formación de los modelos?
- ¿ Cuáles son los modelos primitivos de los conceptos que los alumnos manejan antes de la instrucción?
- ¿ Cómo evolucionan los modelos de los distintos conceptos?
- ¿ Qué tipo de procesos cognitivos facilitan las imágenes?

Este estudio piloto parece confirmar las previsiones del marco conceptual adoptado, un marco nuevo en investigación en enseñanza de la Física, que nos parece promisor, a partir de los resultados preliminares, para la comprensión de procesos cognitivos en el aprendizaje de Física. Sin embargo, el propio hecho de tratarse de un estudio piloto implica que debe ser repetido, intentándose evitar sus debilidades y buscando evidencias adicionales.

Referencias

- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. Y HANESIAN, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognitivo*. 2ª ed. México, Trillas. 623 p.
- CRAIK, F. and TULMING, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology, Geral 104*.
- CRAYK, F. (1963). *The nature of explanations*. Cambridge, Cambridge University Press.
- De KLEER and BROWN (1981). *Mental models of physical mechanisms and their acquisition*. In: Anderson, I (Ed.) *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- FEYNMAN, R. and LEIGHTON (1985). *Surely, you're joking, Mr. Feynman*. New York, Norton.
- GRECA, I. (1995). *Tipos de representações mentais - modelos, proposições e imagens - utilizadas por estudantes de Física Geral sobre o conceito de campo eletromagnético*. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS.
- HALLIDAY, D. e RESNICK, R. (1993). *Fundamentos de Física 3*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA, Harvard University Press.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1987). Modelos en ciencia cognitiva. In Norman, D. (ed). *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona, Paidós.
- LARKIN, J. (1983). The role of problem representation in physics. In Gentner, D. and Stevens, A. (Eds.). *Mental Models*, Hillsdale, NJ, Erlbaum. 75-98.
- MAXWELL, J. (1954). *A treatise on electricity and magnetism*. (Unabridged 3rd edition). New York, Dover Publications, INC.
- MEDIN, D. and ROSS, B. (1992). *Cognitive psychology*. Harcourt Brace Goranovich, Inc.
- MOREIRA, M. A. y MASINI, E. A. F. S. (1982). *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo, Editora Moraes. 112 p.
- MOREIRA, M. A. y BUCHEWEITZ, B. (1993). *Novas estratégias de ensino e aprendizagem*. Lisboa, Plátano Edições Técnicas. 114 p.
- MOREIRA, M. A. (1983), O sistema de instrução personalizada. In *Ação Docente na Universidade*. Porto Alegre, Ed. da Universidade.
- MOREIRA, M. A. (1994). *Representações mentais em aprendizagens de Física: imagens, proposições e modelos mentais*. Projeto de pesquisa. CNPQ, Brasil.
- NERSESSIAN, N. (1992). Construction and instructing: the role of "abstract techniques" in creating and learning physics. In Duschl, R. and Hamilton, R. (eds). *Phylosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*. New York: Suny Press. 49-68.
- POZO, I. (1993). *Psicología y didactica de las ciencias de la naturaleza: concepciones alternativas?* *Infancia y Aprendizaje*. Vol. 62-63, 187-204.
- RIVIÈRE, A. (1987). *El sujeto de la psicología cognitiva*. Madrid, Alianza Editorial.
- STILLINGS, N. et al. (1987). *Cognitive science - an introduction*. Cambridge, MA, The Mit Press. 533 p.

Recebido em 01/02/95

Revisão recebida em 09/11/95

Aceito para publicação em 12/12/95