

# Obstáculos en el aprendizaje de modelos atómicos: pensando el uso de modelos

Pessanha, M.<sup>1</sup>, Couso, D.<sup>2</sup>, Pietrocola, M.<sup>3</sup>

1- *Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo.* [pessanha@usp.br](mailto:pessanha@usp.br)

2- *Departament Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona.* [digna.couso@uab.es](mailto:digna.couso@uab.es)

3- *Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo.* [mpietro@usp.br](mailto:mpietro@usp.br)

## RESUMEN

En este trabajo presentamos y discutimos algunos de los resultados preliminares de una investigación que sigue en curso, sobre la enseñanza de conceptos de Física Moderna y Contemporánea en la educación secundaria. Basados en las ideas de Bachelard, y en una adecuación de estas al contexto educacional, analizamos el papel de los obstáculos epistemológicos en el proceso de enseñanza y aprendizaje, en particular en situaciones que usan simulaciones computacionales. Para ello observamos dos situaciones de enseñanza y aprendizaje en que se discuten, entre otras cuestiones, los modelos atómicos de Thomson y Rutherford, y la interpretación del experimento de Rutherford. Posteriormente analizamos dos de las imágenes utilizadas en las clases (provenientes de una simulación común para el estudio de esta temática), buscando identificar posibles obstáculos que podrían emerger en su uso, así como la forma como podrían ser superados. Los resultados y discusiones presentados en este trabajo son iniciales, y parte de una investigación más extensa, que aún está siendo desarrollada. Sin embargo, los resultados obtenidos y los análisis realizados mostraron una necesidad de reconocimiento y superación de los obstáculos como medio de desarrollo del aprendizaje, y la adecuación de algunas de las ideas de Bachelard para pensar el proceso de enseñanza y aprendizaje.

## Palabras clave

Modelos, analogías, imágenes, física moderna, modelo atómico

## INTRODUCCIÓN

La física abarca el estudio de los fenómenos presentes en el universo que nos rodea. Desde el arco iris hasta el movimiento orbital de los electrones, las teorías físicas refuerzan la comprensión humana de los fenómenos que participan en el mundo, del microcosmos al macrocosmos. Por un lado, los llamados conceptos científicos clásicos pueden entenderse como un refinamiento o evolución conceptual de las ideas presentes en el conocimiento de sentido común. En cierto modo, las entidades clásicas se construyen a partir de objetos presentes en un mundo sensible: la partícula, onda, espacio, tiempo, energía, etc. Por otro lado, sin embargo, los conceptos físicos presentes en las teorías modernas y contemporáneas no tienen referentes en el mundo cotidiano, y en la mayoría de los casos están relacionados con fenómenos que sólo pueden ser reproducidos con el uso de equipos muy sofisticados. En consecuencia, los conceptos de la Física Moderna y Contemporánea (FMC) rompen con las ideas del cotidiano. Más que eso, inducen a

ideas contra-intuitivas que van más allá del entendimiento humano básico forjado en la vida cotidiana. Las entidades presentes en la Física Moderna y Contemporánea se construyen en contra del sentido común: la reducción de masa, la cuantificación de la energía, las partículas virtuales, la curvatura del espacio, etc., son entidades que gozan de características especiales y con propiedades y comportamientos muy diferentes de los objetos que pueblan el mundo cotidiano.

A pesar de que la física moderna no pertenece al mundo de los estudiantes directamente, muchas situaciones cotidianas implican elementos que se pueden interpretar mejor si se utiliza la fenomenología y las entidades involucradas en la Física Moderna y Contemporánea, siendo por ello parte del currículum de los estudiantes de enseñanza post-obligatoria en España (bachillerato). El problema fundamental en este contexto se encuentra en la manera de poner dichas entidades y fenomenologías al alcance de los estudiantes. En otras palabras, hay que ofrecer caminos para superar las dificultades de la representación y la característica contra-intuitiva de los conceptos de FMC.

El uso de modelos analógicos y analogías se presenta en la literatura como una posibilidad. Estos son representaciones del objeto de estudio, permitiendo una mejor visualización y percepción de los fenómenos involucrados para así actuar como facilitadores del aprendizaje. Sin embargo, como representaciones del objeto, pueden al mismo tiempo actuar como obstáculos del aprendizaje.

La investigación que aquí se presenta consiste en un estudio sobre los obstáculos con el aprendizaje que surgen a través de la utilización de modelos analógicos y analogías en la enseñanza de los conceptos de la física moderna y contemporánea, específicamente sobre los modelos atómicos de Thomson y de Rutherford, en una situación de enseñanza y aprendizaje concreta. Con ello, buscamos identificar algunas de las formas en que los diversos obstáculos que surgen son superados, y proponemos otras formas en cómo se podrían superar.

### **La física moderna en la educación secundaria: los aceleradores de partículas**

La introducción de los conceptos de física moderna y contemporánea en la educación secundaria ya se ha discutido por algunas décadas (Knecht, 1968; Marx, 1975; Solbes, 1987; Gil Pérez et al, 1989). En la literatura hay muchas razones ya expuestas para esta inserción, y aunque no vamos en este trabajo nos dedicar a exponerlas, creemos que estas razones son suficientes para afirmar que esta inserción ya es algo indiscutible.

En el mundo contemporáneo o en la sociedad del conocimiento, los logros científicos son publicados en los medios de comunicación y fácilmente accesibles para los estudiantes. Los temas de ciencia moderna están altamente presentes en los medios de comunicación científicos, en las películas de ciencia ficción, o en Internet. Recientemente, a raíz de los últimos avances del llamado LHC (Large Hadron Collider), los aceleradores de partículas han sido un tema destacado y cuestiones tales como “¿Que hacen los aceleradores de partículas?”, “¿Por qué construir aceleradores de partículas?” no son infrecuentes. En las clases de Física, hablar sobre el LHC o de los aceleradores de partículas de forma más general, e intentar explicar su funcionamiento y características involucradas, resulta un contexto útil y común para la introducción de un conjunto de conceptos abstractos, tales como los modelos atómicos y las partículas elementales, entre otros.

Sin embargo, y como hablamos anteriormente, si los conceptos de FMC (como el de partículas elementales) son vinculados a los fenómenos que sólo pueden ser

reproducidos con el uso de equipamiento sofisticado, si son conceptos los cuales no tienen relativos en el mundo cotidiano, y si son contrarios a la intuición, una cuestión que surge inevitablemente cuando pensamos en la enseñanza de estos conceptos es como tornar estos conceptos accesibles a los estudiantes. Una posibilidad que surge, y que según Oliva et al (2001) son parte del repertorio habitual de recursos que los profesores utilizan a la hora de explicar ciencias, es el uso de analogías.

### Modelos analógicos y analogías

Un modelo es una representación que hace uso de imágenes, analogías y metáforas para ayudar al sujeto (estudiante o científico) a visualizar y entender un determinado objeto de estudio, que puede presentarse como difícil de entender, complejo y abstracto, y / o con algún tamaño de percepción inaccesible (Duit, 1991; Pozo; Gómez-Crespo, 1998).

En este trabajo se definen como modelos analógicos las representaciones de un objeto de estudio que se basan en analogías, como en el caso de las simulaciones por ordenador. Un modelo analógico tiene muchos elementos que son conocidos por el sujeto de forma que, por relaciones analógicas, puede ayudar a entender el objeto o fenómeno "modelado". Las relaciones de semejanza o igualdad entre el modelo analógico (estructura conocida) y el objeto o fenómeno modelado (objeto de estudio) son generalmente relaciones de analogía. Una forma simplificada que busca representar esta relación de analogía es presentada en la Figura 1:

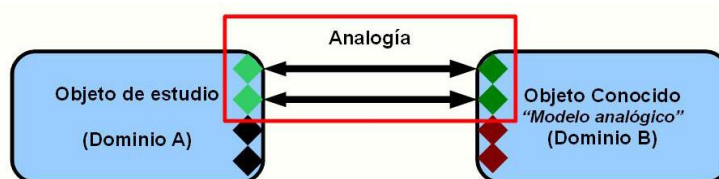


Figura 1. Representación de la relación analógica entre los objetos de estudio y conocido

Para Gardner (1995) las analogías son inherentes al pensamiento humano, y el individuo, desde sus primeros años, las utiliza como un mecanismo cognitivo para entender el mundo. Así, es posible decir que el pensamiento analógico es una forma humana de pensamiento que conduce el aprendizaje.

No hay solamente razones pedagógicas y relacionadas con el aprendizaje para el uso de los modelos analógicos y analogías en el aula de ciencias. La modelización de los fenómenos físicos es uno de los componentes básicos del desarrollo de la ciencia (BUNGE, 1974), y el uso de los modelos analógicos, así como también el estudio de estos, colabora para el alfabetización científica de los estudiantes. En esta actividad, los modelos analógicos tienen un papel importante.

Creemos que el uso de modelos analógicos y analogías puede facilitar la comprensión del objeto de estudio. Sin embargo, como ya hemos hablado, inevitablemente el modelo no coincide con el objeto en su totalidad. Algunas de las características del objeto de estudio se dan prioridad a la hora de diseñar el modelo analógico, pudiendo ser representadas en el modelo analógico cómo prácticamente idénticas, mientras otras características del objeto de estudio son solamente similares a las del modelo analógico, y otras totalmente diferentes entre el modelo analógico y el objeto de estudio. Por tanto, y aunque los modelos analógicos y las analogías pueden ayudar en la comprensión de algún contenido que requiera una gran abstracción o dificultad, estos mismos modelos analógicos pueden contribuir para una comprensión incorrecta o facilitar la no comprensión.

## ***La visión de Bachelard***

El filósofo de la Ciencia Gastón Bachelard, en la primera mitad del siglo XX, ya discutía el uso de los modelos en la ciencia. Específicamente sobre el uso de las imágenes, decía que la ciencia se convierte en una víctima de la metáfora, y argumenta que el espíritu científico debe siempre luchar contra las imágenes, contra las analogías, y contra las metáforas (Bachelard, 1938).

No obstante, Bachelard no sostiene la imposibilidad de uso de metáforas e imágenes, sino que dice que la razón no puede acomodarse a ellas, y debe estar lista para desmontar cuando el proceso de construcción del conocimiento científico así lo requiera (Lopes, 1996). En este sentido, Bachelard acepta el uso científico de las analogías y metáforas, pero les confiere un carácter efímero, que tiene que ser revisado y superado.

El argumento de Bachelard está basado en la noción de obstáculos epistemológicos, que el mismo propuso. Los obstáculos epistemológicos serían las dificultades del razonamiento en la superación de formas preestablecidas de conocimiento, y por lo tanto pueden causar estancamiento o la regresión del desarrollo científico. Para Bachelard, el uso de imágenes, metáforas y analogías permite el surgimiento de obstáculos epistemológicos. Sin embargo, Bachelard resalta que el reconocimiento y la superación de estos obstáculos es lo que lleva a un desarrollo científico. Por lo tanto, para el autor los obstáculos son a la vez los motores y los frenos del pensamiento científico.

Bachelard (1938) define algunos tipos de obstáculos. Un ejemplo es la "primera experiencia", que consiste en sustituir el contacto más directo y la observación del objeto buscando una explicación para él, por una apreciación del objeto. Otro ejemplo de los obstáculos es el "conocimiento unitario", que al considerar el todo como una unidad, se intenta explicar desde una parte el todo u otra parte de un conjunto. Un último ejemplo de obstáculo que se destaca es el "verbal", que se refiere al uso de la palabra en lugar de la explicación, convirtiéndose así, en una explicación falsa. En este trabajo, adaptamos la idea de obstáculos epistemológicos de Bachelard para investigar el uso de los modelos y analogías en la enseñanza de conceptos de partículas elementales. Así como ya ha realizado uno de los autores, (Pietrocola, 2008), ampliamos la noción de Bachelard de obstáculo epistemológico y abarcamos cualquier dificultad en el proceso de enseñanza y aprendizaje relacionados con el acto de conocer. Además, entendemos la superación de estos obstáculos como una forma en la cual ocurre el aprendizaje.

## **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación consistió en observar y analizar dos clases de física de segundo de bachillerato en la que fueron utilizados modelos analógicos y analogías en la enseñanza de los conceptos relacionados con el interior de la materia, los modelos atómicos, las partículas elementales, y los aceleradores de partículas.

Las clases son parte del proyecto Revir<sup>i</sup>, desarrollado por el Centro de Investigación para la Educación Científica y Matemática (CRECIM) de la Universidad Autónoma de Barcelona, y enmarcado en el proyecto COMPEC<sup>ii</sup>. El proyecto Revir (Realidad-Virtualidad) consiste en ofrecer al alumnado y al profesorado de secundaria de Cataluña sesiones de trabajo experimental en un laboratorio informatizado en la propia universidad. Las sesiones se diseñan de acuerdo a criterios didácticos, se pilotan con alumnos y se analizan críticamente para su mejora, de forma iterativa y en función de resultados de aprendizaje y otros factores. Además, estas sesiones se utilizan como

escenarios para el desarrollo de investigación didáctica concreta, como en el caso de esta investigación en el uso de modelos analógicos.

Las sesiones REVIR analizadas tenían el objetivo de ayudar a la comprensión de conceptos de partículas elementales partiendo de una discusión sobre el porqué se intenta conocer el interior de la materia, pasando por la discusión histórica de los modelos atómicos, y llegando hasta la discusión sobre el acelerador de partículas ALBA. En este trabajo discutimos solamente el momento de las clases en que se intentó la superación del modelo atómico de Thomson desde la discusión del experimento de Rutherford. Cada una de las dos situaciones consistió en clases de aproximadamente 4 horas de duración. Los estudiantes que participaron de las clases son de Bachillerato (Ciencias y tecnología) con edad entre 16 y 17 años, del año lectivo 2011-2012.

La recogida de datos se realizó mediante registro en video de las sesiones. Como el instrumento de recolección de datos se utilizó también un cuaderno de campo. Los obstáculos que se presentaban, así como aquellos que podrían surgir dependiendo de cómo los modelos se utilizaron, fueron registrados. También se registró las formas como los obstáculos fueron superados.

## METODOLOGÍA

La metodología de este estudio es de carácter cualitativo e interpretativo. El análisis de datos consistió en la identificación y categorización de los obstáculos epistemológicos registrados u observados en las dos sesiones de aula. Esta categorización se hizo de acuerdo a la tipología de obstáculos epistemológicos de Bachelard, pero no se limitando a esta clasificación.

Posteriormente, cada caso de obstáculo epistemológico identificado se ha relacionado con las dificultades de aprendizaje identificadas en los estudiantes, también registradas y analizadas. En la sección de resultados presentamos la discusión de dos ejemplos de estos obstáculos epistemológicos, describiendo el contexto de aparición, su naturaleza y las propuestas que hacemos para la superación de los mismos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### ***El caso de la dificultad de lectura e interpretación de la pantalla en el experimento de Rutherford***

El primer obstáculo epistemológico que identificamos está relacionado con la imagen de la Figura 2, que es una representación del experimento de Rutherford disponible en una simulación por ordenador muy usada para la enseñanza de este experimento (KCVS, 2010a).

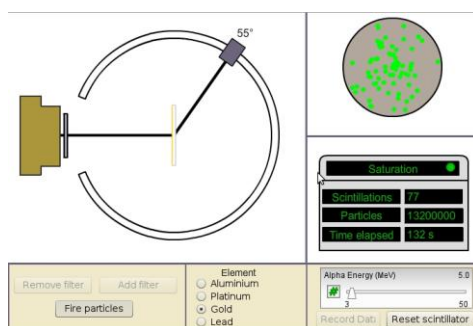


Figura 2. Imagen de la simulación representando el experimento de Rutherford

En la primera sesión del Revir pudimos observar como numerosos estudiantes afirmaban, tras utilizar la simulación, que el experimento de Rutherford demostraba que el modelo propuesto por Thomson era correcto.

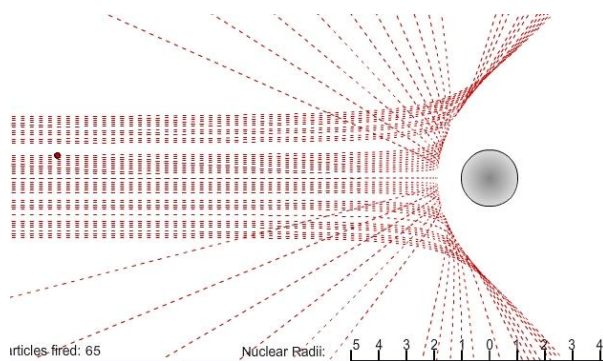
La observación del diálogo de los estudiantes entre sí y con los profesores de la sesión mostraba que el error era debido a que el círculo que representa la pantalla en el experimento de Rutherford (arriba a la derecha) no era interpretado por los alumnos como una representación del momento en que las partículas alfa se encontraban con el material fluorescente, sino que relacionaban la representación de la pantalla con una posible visualización del átomo (un modelo de pudding de pasas). Así, los puntos observados en el interior del círculo fueron comprendidos como los electrones, y el círculo como el propio átomo según el modelo de Thomson.

En este caso, el obstáculo está en una búsqueda del pensamiento, por lo que él ya conoce. El pensamiento, en este caso la interpretación del experimento, está anclado en lo conocido y no permite una superación de lo conocido. Aunque no encontramos en Bachelard un tipo específico de obstáculo epistemológico en que este pudiese ser clasificado, esto sería un obstáculo epistemológico según la noción más amplia que consideramos en este trabajo, pues es una dificultad relacionada con el acto de conocer

Este error de comprensión es, de cierta forma, resultado de un entendimiento incorrecto del aparato experimental y la falta de apoyo a los estudiantes en la "lectura" de la simulación. Su superación, por tanto, pasa por la comprensión de que la pantalla, en la realidad, es una representación del encuentro de las partículas con el material fluorescente de la muestra y no una observación directa del átomo.

### ***Obstáculo del conocimiento unitario: La imagen del modelo atómico de Rutherford reforzando el modelo de Thomson***

Entre las imágenes utilizadas en las sesiones estaba la representación de los desvíos de partículas alfa cuando son lanzadas en la dirección de los núcleos atómicos, según el modelo atómico de Rutherford. Esta imagen era generada por una simulación por ordenador (KCVS, 2010b) utilizada por los estudiantes (Figura 3).



*Figura 3. Imagen de la simulación representando los desvíos de partículas alfa en el modelo atómico de Rutherford.*

Uno de los puntos involucrados en el experimento de Rutherford es que las partículas alfa sufren desviaciones con grandes grados, pero que la gran mayoría de las partículas seguiría su trayectoria con grados de desviación pequeños o nulos. El modelo analógico que presenta la simulación, sin embargo, al representar uno sólo núcleo (y átomo), llevaría a la percepción de que ninguna partícula alfa seguiría su movimiento después de la interacción con el átomo. Esta observación podría no solamente refutar el modelo atómico de Rutherford (más adecuado que el modelo de Thomson), sino que también

podría reforzar el modelo atómico de Thomson, pues este sería visto como más adecuado según los resultados experimentales del experimento de Rutherford que presenta la simulación o modelo analógico.

En las sesiones Revir con alumnos, de hecho, se observó que los alumnos predecían que la mayor parte de las partículas rebotaban en el átomo, y al comparar su predicción con los resultados de la imagen 3, no comprendían porque la predicción era considerada incorrecta.

Por tanto, como en el caso anterior, afirmamos que esto es también un obstáculo epistemológico pues él impide el pensamiento de superar a si mismo. Es un obstáculo que no sólo puede llevar a la reafirmación de un modelo, pero también a una comprensión inadecuada de un nuevo y mejor modelo que es presentado. Este obstáculo consiste en una extrapolación, en que partiendo de una visión reducida se intenta interpretar el todo. Como en el obstáculo del conocimiento unitario de Bachelard, el desarrollo del pensamiento es bloqueado por una comprensión unitaria de un todo, en que la explicación para el pequeño debería explicar el grande (el todo).

La superación de este obstáculo debería implicar un cambio en la imagen de forma que se pasara a representar no solamente un átomo, sino un conjunto de átomos. Así sería posible reconocer dos de las características principales del experimento de Rutherford: que la gran mayoría de las partículas sólo sufre pequeños desvíos, y que muy pocas partículas sufren desvíos muy grandes, siendo esto último justamente una importante limitación del modelo de Thomson.

Algo importante a destacar es que los obstáculos no surgen por las imágenes en sí, sino por la forma en como se utilizan las imágenes. Son en las analogías entre los modelos analógicos entre el experimento real (histórico) y la comprensión de los alumnos de este experimento que emergen los obstáculos. Aunque las imágenes puedan potenciar la ocurrencia de un obstáculo, este puede constituirse como tal sólo si la situación de uso es favorable a esto. Por ejemplo, esta representación de un único núcleo atómico de la figura 3, puede ser adecuado en un momento más avanzado de la discusión de los modelos atómicos para entender lo que pasa en la interacción entre partículas alfa y núcleos, pero creemos que utilizarlo como medio de interpretación del experimento de Rutherford no resulta adecuado.

## **CONCLUSIONES**

Las ideas de Bachelard, aunque surgidas desde la primera mitad del siglo XX, y en el ámbito de la filosofía de las ciencias, pueden ser utilizadas para pensar la enseñanza de las ciencias hoy en día y presentan una especial utilidad a la hora de analizar la calidad de los modelos analógicos y las analogías que se utilizan en el aula de ciencias.

En este trabajo, por ejemplo utilizamos la noción de obstáculo epistemológico de Bachelard de modo más amplio, y consideramos la superación de los obstáculos como una de las formas de ocurrencia del aprendizaje. Los resultados y discusiones presentados en este trabajo son iniciales, y parte de una investigación más grande, que aún está siendo desarrollada. Sin embargo, los resultados obtenidos y los análisis realizados muestran una necesidad de reconocimiento y superación de los obstáculos como medio de desarrollo del aprendizaje.

Pretendemos, como acciones futuras, profundizar en la noción de obstáculo en el contexto de la enseñanza mediante el uso de modelos analógicos y analogías, y



profundizar el entendimiento de como esta noción está muy cerca del desarrollo del aprendizaje.

## BIBLIOGRAFÍA

Bachelard, M. (Ed.). (1938). *A formação do Espírito Científico*. Rio de Janeiro, RJ: Contraponto.

Bunge, M. (Ed.). (1974). *Teoria e Realidade*. São Paulo, SP: Perspectiva.

Duit, R. (1991). The role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.

Gardner, H. (Ed.). (1995) *Inteligências Múltiplas: A teoria na prática*. Porto Alegre-RS: Artes Médicas.

Gil-Pérez, D., Senent, F.D. & Solbes, J. (1989) Física Moderna en la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados, *Revista Española de Física*, 3(1), 53-58.

KCVS, (2010a). *Rutherford Scattering*, Último acceso el 20 de marzo de 2012, desde [http://www.kcvs.ca/site/projects/physics\\_files/rutherford/historical\\_scattering2.swf](http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/historical_scattering2.swf)

KCVS, (2010b). *Up Close Rutherford Scattering*, Último acceso el 20 de marzo de 2012, desde [http://www.kcvs.ca/site/projects/physics\\_files/rutherford/scattering2.swf](http://www.kcvs.ca/site/projects/physics_files/rutherford/scattering2.swf)

Knecht, W. (ed). (1968). *New trends in physics teaching (1965-1966)*, v.1, Paris: UNESCO, 1968.

Lopes, A. R. C (1996). *Conhecimento Escolar: quando as ciências se transformam em disciplinas*. Rio de Janeiro-RJ: UFRJ.

Marx, G. (ed). (1975) *Atoms in the school, proceedings of the first and second Danube Seminar*, Budapest: Roland Eötvös Physical Society.

Oliva, J.M., Aragón, M.M., Mateo, J. & Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las ciencias*, 19(3), 453-470.

Pietrocola, M. (2008), A Transposição da Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In: R. Borges. (Ed.). *Propostas Interativas na Educação Científica e Tecnológica*. (159-180). Porto Alegre, RS: EDUC.

Pozo, J. Y Gómez-Crespo, M. A. (Ed). (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.

Solbes, J., Calatayud, M., Climent, J. & Navarro, J. (1987). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos, *Enseñanza de las ciencias*, 5(3), 189-195.

---

<sup>i</sup> <http://crecim.uab.cat/revir/>

<sup>ii</sup> El trabajo aquí presentado está financiado por el MICINN, como parte del proyecto de I+D COMPEC: "La competencia científica en el profesorado de ciencias de secundaria: análisis de dificultades, propuestas de formación y elaboración de materiales didácticos como 'buenas prácticas' en el ámbito", con referencia EDU2009-08885.