

# ¿LOS PROFESORES DE FÍSICA Y QUÍMICA DISPONEN DE UN MODELO QUE EXPLIQUE LA FORMACIÓN DE LOS ESPECTROS ATÓMICOS?

Francisco Savall Alemany, Josep Lluís Domènech Blanco, Joaquín Martínez Torregrosa  
*Universitat d'Alacant*

**RESUMEN:** La investigación en didáctica de la ciencia ha puesto de manifiesto la importancia de una enseñanza basada en los modelos. El estudio de los procesos de emisión y absorción de radiación que dan origen a los espectros atómicos es un campo especialmente adecuado para ello. Tras una investigación histórica y epistemológica hemos establecido siete ideas clave que ha de tener un modelo que explique los espectros. Ocho entrevistas realizadas a profesores de secundaria nos permiten llegar a la conclusión de que los docentes están lejos de haber adquirido, y por tanto de enseñar, un modelo capaz de explicar las interacciones entre materia y radiación que dé lugar a los espectros.

**PALABRAS CLAVE:** Modelos atómicos, espectros, física cuántica.

## OBJETIVO

Nuestra hipótesis es que los profesores de Física y Química de secundaria y bachillerato no poseen un modelo capaz de explicar la formación de los espectros de emisión y absorción de los átomos. Concretamente, no son capaces de relacionar las transiciones entre los estados estacionarios de los átomos con las magnitudes características de la luz emitida (espectro de frecuencias e intensidad).

## MARCO TEÓRICO

Numerosos autores han destacado la importancia de una enseñanza basada en los modelos científicos como guía para aprender a trabajar y pensar científicamente (Harrison, 2000; Justi y Gilbert, 2000; Gilbert, 2003; Justi, 2006; McKagan, Perkins y Wieman, 2008; Stefani y Tsapalis, 2009) y eso por diversos motivos:

- Constituyen el método de trabajo propio de la ciencia y su principal producto.
- Son los principales instrumentos de la enseñanza.
- Actúan como intermediarios entre las teorías y la experiencia.
- Una de las características del pensamiento experto es la capacidad de trabajar con diversos modelos, reconociendo la utilidad y limitaciones de cada uno de ellos.

---

La estructura atómica y los procesos de emisión y absorción de radiación son un campo especialmente adecuado para trabajar la construcción, evaluación y puesta a prueba de modelos, aunque debemos tener en cuenta que dichos procesos se identifican como modelos de proceso, los de mayor abstracción y los más complejos de adquirir por los alumnos (Harrison, 2000).

De acuerdo con la historia de la ciencia, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX una serie de fenómenos de emisión y absorción de radiación no tenían explicación a partir de los modelos clásicos: la distribución energética de la radiación emitida por un cuerpo negro, los espectros discretos de los gases, el efecto fotoeléctrico, la emisión radioactiva o la fluorescencia y la fosforescencia (Sánchez Ron, 2001).

El estudio de la radiación de cuerpo negro llevó a Planck a introducir la hipótesis cuántica, admitiendo en contra de su voluntad que la variación de energía de los osciladores cargados que forman la materia no tiene lugar de forma continua sino discreta, aunque no existe un consenso generalizado sobre hasta qué punto la hipótesis de Planck supuso un distanciamiento de las tesis clásicas (Klein, 1979; Kuhn, 1980; Galison, 1981; Kuhn, 1984).

La explicación del efecto fotoeléctrico propuesta por Einstein en 1905 es el hecho que ilustra con mayor claridad la necesidad de abandonar los modelos clásicos para dar cuenta de los procesos de emisión y absorción de radiación (Einstein e Infeld, 1986). A pesar de la oposición inicial de la comunidad científica (Jammer, 1966; Pais, 1984; Farmelo, 2002), el concepto de fotón se aceptó tras la explicación del efecto Compton (Sánchez Ron, 2001; Jammer, 1966)

Bohr introdujo la cuantización en el átomo de hidrógeno para superar las dificultades de estabilidad mecánica que presentaba el átomo nuclear propuesto por Rutherford (Heilbron y Kuhn, 1969) y rompió con el modelo clásico que identifica la frecuencia de la radiación emitida con la frecuencia del sistema oscilante responsable de la emisión. Atribuyó la emisión de radiación del átomo de hidrógeno a las transiciones entre estados estacionarios y relacionó la frecuencia de las radiaciones emitidas o absorbidas con la diferencia de energía de los estados entre los que se produce la transición (Bohr, 1922). Cabe destacar que Bohr, a pesar de introducir la cuantización en el átomo, no aceptó la hipótesis de Einstein sobre la cuantización de la radiación, que continuó considerando ondulatoria y continua hasta 1924.

## METODOLOGÍA

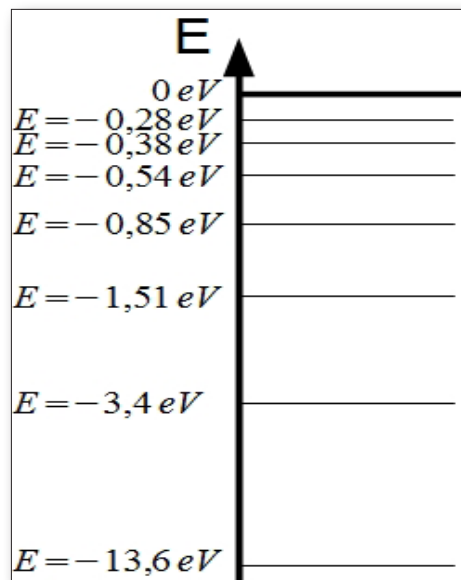
La investigación histórica y epistemológica realizada nos ha permitido identificar siete ideas clave que ha de tener un modelo de emisión y absorción de radiación:

- IC 1: Los átomos, cuando no están excitados, se encuentran en el nivel estacionario de menor energía.
- IC 2: Cualquier proceso de emisión o absorción de radiación por el átomo implica el paso de un estado estacionario a otro.
- IC 3: La variación de energía en una transición entre dos estados estacionarios está relacionada con la energía del fotón absorbido o emitido  $\Delta E_{\text{sistema}} = E_{\text{fotón}}$
- IC 4: Las transiciones a estados estacionarios de menor energía tienen carácter aleatorio, es decir, se pueden dar transiciones entre cualesquiera estados.
- IC 5: No se producen absorciones múltiples que produzcan transiciones consecutivas a estados de mayor energía.
- IC 6: En cada transición entre estados estacionarios se emite o absorbe un único fotón.
- IC 7: La intensidad de una radiación está relacionada con la cantidad de fotones que la integran.

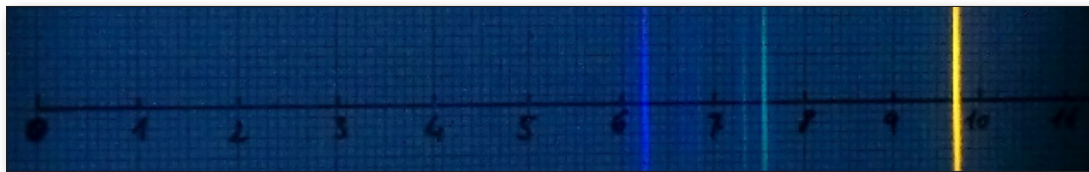
Debemos resaltar que la interpretación de los espectros atómicos no requiere de un modelo concreto del átomo. No analizaremos, por ello, el modelo atómico usado por los profesores, sino en qué medida se usa cualquiera de los modelos cuánticos del átomo. Salimos así al paso de las polémicas sobre la conveniencia o no del modelo atómico de Bohr en la enseñanza (Fischler y Lichfeld; 1992; Petri y Niederer, 1998; Kalkanis, Hadzidaki y Stavrou, 2003; McKagan, Perkins y Wieman, 2008).

Hemos diseñado una entrevista en la que se pide a los profesores que indiquen aplicaciones cotidianas de la física cuántica y que realicen predicciones o den cuenta de determinadas características en la formación de los espectros. Hemos entrevistado a 8 profesores en activo y analizado sus respuestas.

## Entrevista



- A1. Señala aparatos tecnológicos y fenómenos cotidianos cuyo funcionamiento esté basado en las leyes cuánticas. Indica qué aspecto del funcionamiento de esos aparatos o fenómenos está basado en la física cuántica.
- B1. En la imagen de la derecha se muestra las energías de los 7 primeros estados estacionarios del átomo de hidrógeno. ¿Te resulta familiar esta imagen?
- B2. En un recipiente disponemos de millones de átomos de hidrógeno que se encuentran en el estado de menor energía, el estado fundamental que se dice. Iluminamos por unos instantes el recipiente con luz cuyos fotones tienen energías comprendidas entre 1 eV y 12 eV:
- ¿Qué les ocurrirá en los átomos del gas?
  - ¿Qué observaríamos si hacemos la descomposición espectral de la luz después de atravesar el recipiente que contiene el gas?
- B3. Mediante una descarga eléctrica se comunica a los átomos de hidrógeno contenidos en un recipiente la energía necesaria por llegar al estado estacionario de -1,51 eV. Al observar con el espectroscopio la radiación que emite posteriormente el gas, ¿qué se observará?
- B4. Con un espectroscopio escolar se ha tomado la imagen que se muestra más abajo del espectro del helio. ¿Cómo explicas que en el espectro de un gas haya líneas más intensas que otras?



Espectro del helio tomada con un equipo escolar

## RESULTADOS

En la siguiente tabla se resumen las respuestas dadas por los profesores a la cuestión A1. Marcamos con una C aquellas respuestas que consideramos correctas y con una I las incorrectas, teniendo en cuenta si el aspecto resaltado por el profesor para justificar su respuesta hace o no hace referencia a fenómenos cuánticos.

Tabla 1.  
Respuestas a la cuestión A1

Cuestión	Respuestas	Respuestas
A1	C: La célula fotoeléctrica	5 justificadas
	C: El láser	2 no justificadas
	C: El microscopio de efecto túnel	1 no justificada
	I: Los ordenadores e Internet	1 no justificada
	I: Los microondas	1 no justificada

Las respuestas a las cuestiones B1 a B4 se resumen en la tabla inferior. Nuevamente, marcamos con una C aquellas respuestas que consideramos correctas y con una I las incorrectas.

Tabla 2.  
Respuestas a las cuestiones B

Cuestión	Respuestas	n	Idea clave no contemplada
B1	Reconocen el diagrama de estados estacionarios del átomo de hidrógeno	8	
B2 a	C: Se pueden producir transiciones a los estados de $-3,4\text{eV}$ y $-1,51\text{ eV}$	3	
	I: Se pueden producir transiciones a los estados de $-3,4\text{eV}$ y $-1,51\text{ eV}$ y entre el estado de $-3,4\text{eV}$ y $-1,51\text{ eV}$	1	IC5
	I: Se pueden dar transiciones entre niveles siempre que la diferencia sea de entre 1 y 12 eV (y por tanto se puede ionizar el átomo)	1	IC5
	I: Consideran que el estado fundamental es el de 0 eV y que los átomos alcanzan los niveles cuya energía, en valor absoluto, sea menor que 12 eV	2	IC1
	I: Hacen falta 13,6 eV para sacar al átomo del nivel fundamental		IC3

Cuestión	Respuestas	n	Idea clave no contemplada
B2 b	C: Se observará un espectro continuo con dos líneas negras	1	
	I: Se observará un espectro continuo con más de 2 líneas negras debidas a todas las transiciones que pueden tener lugar hasta alcanzar el estado de 0 eV	1	IC1
	I: Se observará un espectro continuo con más de 2 líneas negras debidas a excitaciones múltiples	2	IC5
	I: No saben predecir el espectro observado	4	
B3	C: Se observarán 3 líneas de emisión	2	
	I: Se observarán dos líneas, correspondientes a las transiciones entre el estado de -1,51 eV y los estados de -3,4eV y -13,6 eV	1	IC4
	I: Habrá una única línea formada por fotones de 1,51 eV	3	IC1
	I: Se observará el espectro del hidrógeno	1	IC2 - IC3
	I: Se ionizará el átomo	1	
B4	C: Relacionan las líneas de mayor intensidad con una mayor cantidad de transiciones entre los estados estacionarios que la originan	3	
	I: No relacionan la intensidad con las transiciones y atribuyen las líneas más intensas a que el electrón se encuentra en un estado formado por diversos subestados de energía próximas	2	IC2 - IC7
	I: Atribuyen las líneas más intensas a la presencia de más electrones en un estado estacionario determinado	1	IC2 - IC7
	I: No saben dar una explicación	2	

Cabe destacar que sólo un profesor respondió correctamente a la totalidad de las cuestiones. De los restantes siete profesores, sólo dos (los que consideran que son posibles múltiples transiciones a estados superiores) usaron un único modelo para explicar todas las situaciones planteadas. Los restantes 5 profesores hicieron uso de modelos diferentes, e incoherentes, para dar cuenta de cada fenómeno.

## CONCLUSIONES

A la luz de los resultados constatamos que, en general, los profesores consideran la física cuántica como un campo alejado de la realidad cotidiana. Una cantidad significativa de ellos no identifican fenómenos cuánticos cotidianos más allá de las células fotoeléctricas. Los LEDs, los tubos de neón, las bombillas de bajo consumo o los materiales fosforescentes o fluorescentes son fenómenos que no son percibidos como cuánticos, a pesar de estar en el origen de la misma teoría.

Respecto al modelo de emisión y absorción de radiación, constatamos que una parte significativa de los profesores de Física y Química no disponen de un modelo capaz de explicar correctamente la formación de los espectros. A pesar de manifestar que conocen la estructura de estados estacionarios del átomo de hidrógeno no son capaces de usarla.

La investigación didáctica ha enfatizado la necesidad de que los profesores tengan un conocimiento en profundidad de la materia que imparten (Gil, 1991). Sin un conocimiento adecuado del modelo de emisión y absorción atómicos por parte de los profesores difícilmente pueden poner a sus alumnos ante situaciones que requieran pensar en base a modelos.

Nuestro objetivo ahora se centra en proponer una secuencia didáctica que permita a los alumnos superar las dificultades detectadas en los profesores, favoreciendo la construcción y puesta a prueba de modelos y su aprendizaje significativo.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bohr, N. (1922). The structure of the atom. Nobel lecture. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1922/bohr-lecture.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1922/bohr-lecture.html).
- Einstein, A. e Infeld, L. (1986). *La evolución de la Física*. Barcelona: Biblioteca Científica Salvat.
- Farmelo, G. (2002). *Formulas elegantes*. Barcelona: Ed. Tusquets.
- Fischler H. y Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (2), pp. 181-190.
- Galison, P. (1981). Kuhn and the quantum controversy. *British Journal for the Philosophy of Science*, 32 (1), pp. 71-85.
- Gil-Pérez, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), pp. 69-77.
- Gilbert, J. K. (2003). *Models and modelling in science education*. Hatfield, Herts: Association for Science Education.
- Harrison, A. G. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), pp. 1011-1026.
- Heilbron, J. L. y Kuhn, T. S. (1969). The genesis of the Bohr atom. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1 (3), pp. 211-290.
- Justi, R. y Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. *International Journal of Science Education*, 22 (9), pp. 993-1009.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basa en la elaboración de modelos, *Enseñanza de las ciencias*. 24 (2). pp. 173-184.
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. y Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science education*, 87 (2), pp. 257-280.
- Klein, M. J., Shimony, A. y Pinch, T. (1979). Paradigm lost? A review symposium. *Isis*, 70 (3), pp. 429-440.
- Kuhn, T. S. (1980). *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912*. Madrid: Alianza Editorial.
- Kuhn, T. S. (1984). Revisiting Planck. *Historical Studies in Physical Sciences*, 14 (2), pp. 231-252.
- Mc Kagan, S. B. Perkins, K. K. y Wieman, C. E. (2008). Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively. *Physical Review Special Topics*. <http://prst-per.aps.org/abstract/PRST-PER/v4/i1/e010103>
- Petri, J. y Niederer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20 (9), pp. 1075-1088.
- Sánchez Ron, J. M. (2001). *Historia de la física cuántica. I. El periodo fundacional (1860-1926)*. Barcelona: Ed. Critica.
- Stefani, C. y Tsaparlis, G. (2009). Students's Levels of Explanations, Models, and Misconceptions in Basic Quantum Chemistry: A pehenomenographic Study. *Journal of research in science teaching*, 46 (5), pp. 520-536.