

Física moderna en la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados

D. Gil (1), F. Senent (2) y J. Solbes (3)

(1) ICE y Departament de Didàctica de les Ciències i Matemàtiques. U.A. Barcelona,

(2) Facultat de Ciències Físiques, U. de Valencia, (3) Coordinador de la Reforma de las EMM de València

1. Las dificultades en el aprendizaje de la Física moderna

Los análisis realizados sobre el aprendizaje de la Física moderna en la actual enseñanza media (Gil, Senent y Solbes 1987) muestran que los alumnos no alcanzan en general una mínima comprensión, ni siquiera cualitativa, de sus ideas y conceptos fundamentales, incurriendo en graves errores conceptuales.

Tales resultados han sido atribuidos a la especial dificultad de la nueva Física, poniendo incluso en cuestión la convivencia de su introducción en los estudios secundarios (Kuhn, 1981). Intentaremos mostrar, sin embargo, que las dificultades en el aprendizaje de la Física moderna no son de naturaleza diferente a las del aprendizaje de la Física en general y que una didáctica que plantee el aprendizaje con una orientación constructivista, como un cambio conceptual y metodológico, se traduce en una sensible mejora del aprendizaje, tanto de la Física clásica como de la moderna. Ello reviste una gran importancia dado que la introducción de la Física moderna puede contribuir a dar una imagen más correcta de toda la Física y de la propia naturaleza del trabajo científico. Por otra parte el actual proceso de Reforma de la Enseñanza en nuestro país hace particularmente indicado prestar una cuidadosa atención a estas cuestiones.

2. La Física moderna como cambio conceptual

Recientes investigaciones centradas en las dificultades de los alumnos en la comprensión significativa de conceptos fundamentales de Física, reite-

radamente enseñados, han puesto en evidencia que los alumnos poseen esquemas conceptuales alternativos (Driver, 1986) que constituyen, en cierto modo, una "física intuitiva" y que aparecen asociadas a una forma de abordar los problemas caracterizada por la aceptación y la generalización acrítica de las "evidencias de sentido común" (Carrascosa y Gil, 1985). Según esto, la adquisición de los conceptos básicos de Física exigiría, un profundo cambio conceptual (Posner et al 1982) y metodológico (Gil y Carrascosa, 1985, Hashweth, 1986) similar al que acompañó al surgimiento de la Física clásica.

Esto permite suponer que las dificultades encontradas en el aprendizaje de la Física moderna derivan, precisamente, de no contemplar dicho aprendizaje como un cambio conceptual, siendo así que la Física moderna representó una ruptura tan profunda o más que la que significó el surgimiento de la Física clásica. Desde este punto de vista, el fracaso generalizado en la comprensión de incluso los escasos elementos de Física moderna introducidos en la enseñanza secundaria, derivaría de la visión lineal, puramente acumulativa del desarrollo de los conocimientos.

De hecho, en trabajos anteriores hemos puesto en evidencia -a través del análisis de textos y de cuestionarios dirigidos al profesorado (Gil, Senent y Solbes, 1987; Solbes et al 1987)- el tratamiento lineal y desestructurado que la enseñanza habitual da a la introducción de conceptos, mezclando las concepciones clásicas y modernas, sin mostrar la existencia de una ruptura entre ambas, es decir, sin mostrar las profundas diferencias entre la visión clásica y la moderna sobre el comportamiento de la materia, ni los límites de validez de la visión clásica, perjudicando, por tanto, la correcta comprensión de ambas y generando graves errores conceptuales que, en ocasiones, son introducidos explícitamente por los propios textos.

Nuestra hipótesis supone que al ordenar explícitamente el aprendizaje como cambio conceptual y metodológico se han de obtener resultados sensiblemente mejores. Dicho de otro modo, ha de ser relativamente simple conseguir sensibles mejoras en la comprensión de unos elementos básicos de Física moderna, si se utilizan currícula organizados para producir cambios conceptuales, ajustados en cierta medida a los que se dieron históricamente.

La orientación de un aprendizaje como cambio conceptual y metodológico exige, muy concretamente, la superación de la enseñanza por transmisión de conocimientos y la transformación del currículum en un programa de actividades, a través de las cuales los conocimientos puedan ser (re)construidos (Furió y Gil, 1978; Driver y Oldham, 1986; Gil y Mtnz. Torregrosa, 1987). Más concretamente, y en relación con el problema que aquí nos ocupa, no basta que los alumnos reciban información de que ha habido revoluciones científicas, como propone Hodson (1985): se trata de lograr que experimenten ellos mismos un cambio semejante, es decir, que perciban, al abordar algunos problemas, que los conceptos clásicos no son capaces de dar solución a los mismos, de forma que se produzca una insatisfacción con dichos conceptos y se plantee la necesidad de sustituirlos por otros nuevos en clara ruptura con los anteriores.

Por ello, para verificar la posibilidad de conseguir sensibles mejoras en la comprensión de la Física moderna por los alumnos, hemos comenzado por diseñar materiales que plantean una breve introducción a la Física moderna, que han sido utilizados por uno de los autores de este trabajo (y otros profesores de enseñanza media, que han realizado un tratamiento más breve), con grupos de alumnos de BUP y COU. Se pretendía así constatar –utilizando posteriormente cuestionarios *ad-hoc* hasta que punto es posible una mejora sensible, incluso con dichos tratamientos muy breves, siempre que la orientación didáctica sea correcta.

3. Programas-guía de actividades para la introducción de la Física moderna

De acuerdo con las orientaciones expuestas en el apartado anterior, los materiales didácticos para la introducción de la Física moderna, han sido elaborados con las características de lo que hemos denominado un "programa-guía de actividades", consistentes en un conjunto de actividades a proponer a los alumnos a través de los cuales éstos pueden abordar los problemas y (re)construir los conocimientos en un proceso de investigación dirigida (Furió y Gil, 1978; Gil, 1982; Gil y Martínez, 1987). Concretamente hemos elaborado dos versiones de dichos programas-guías para los niveles elemental (la enseñanza físico-química obligatoria, es decir, 2.º de BUP) y superior (la enseñanza opcional, 3.º de BUP y COU).

Dichos programas-guía son utilizados tras un tratamiento detenido de la Física clásica –que, a su vez, fue planteada como ruptura con la Física del sentido común– y persiguen mostrar los límites de esta visión clásica que constituye, sin duda, el núcleo central de la Física introducida en la enseñanza media. A tal efecto ambos niveles se inician solicitando una síntesis de las principales aportaciones de la Física clásica, tanto científicas como técnicas, que muestre la imagen del comportamiento de la materia que esta proporciona, así como los problemas pendientes de solución. Esta revisión permite recordar cómo la Física clásica había surgido contra un paradigma, la Física pregalileana, que se había mostrado incapaz de resolver importantes problemas del comportamiento de la materia. Esto constituye a hacer comprender que las nuevas dificultades surgidas en el marco clásico pueden, a su vez, originar la crisis del mismo.

Sin entrar en una descripción detallada de los programas-guía –de los que pueden encontrarse distintas versiones en Gil et al (1979), Solbes (1986), Seminario de Física y Química (1986 y 1987)– transcribiremos las actividades propuestas en su introducción.

A.1. Señalar algunos de los principales éxitos (incluyendo sus aplicaciones prácticas de la Física clásica, es decir, desde la época de Galileo a la de Maxwell inclusive).

A.2. Tratar de indicar qué imagen del comportamiento de la materia introduce la Física clásica (en particular, cómo se conciben el espacio, el tiempo, las radiaciones y los cuerpos).

A.3. La Física clásica –algunas de cuyas características acabamos de revisar– surgió contra un paradigma, la Física aristotélico-escolástica que se había mostrado incapaz de resolver una serie de problemas. Señalar algunas tesis de esta Física del "sentido común" que vino a derribar la Física clásica.

A.4. Como hemos ido viendo hasta aquí, la Física clásica llegó a explicar prácticamente todos los fenómenos conocidos y se convirtió en un cuerpo coherente de conocimientos en el que sólo quedaba por resolver unos pequeños problemas. Recordar algunos de estos problemas pendientes.

A partir de esta última actividad, que lleva a recordar los problemas planteados por los espectros continuos y discontinuos, el efecto fotoeléctrico, etc, –convenientemente resaltados en su momento por el profesor– se pueden abordar con algún detenimiento –aunque siempre de forma cualitativa– estos problemas hasta mostrar la crisis que originaron en la Física clásica e introducir algunos conceptos básicos de Física relativista y cuántica. Nos referiremos brevemente a los programas del nivel superior:

En lo que respecta a la Relatividad, partiendo de las dificultades de la Física clásica par dar respuesta al problema que supuso la búsqueda de un sistema de referencia en reposo absoluto, se puede mostrar la necesidad de poner en cuestión algunas hipótesis fundamentales de la Física clásica acep-

tados como evidencias incuestionables –el espacio y el tiempo absolutos–. Conviene señalar el alto valor metodológico de este planteamiento: es precisamente la aceptación de supuestos implícitos, que escapan así a la crítica, una de las barreras fundamentales para un cambio tan profundo como el que aquí nos ocupa (Gil, 1981). Seguidamente, se pueden mostrar algunas implicaciones de la Física relativista: la dilatación temporal, la contracción de la longitud, la variación de la masa con la velocidad y, sobre todo, la equivalencia masa-energía, como modificaciones en las leyes fundamentales de la Mecánica clásica. Además, es necesario evitar que la idea de equivalencia se entienda como transformación de masa en energía, error conceptual ya puesto en evidencia repetidamente (Warren, 1976; Gil, 1981; Lehrman, 1982).

Por lo que se refiere a la introducción de la Física Cuántica, se parte de las dificultades para explicar el efecto fotoeléctrico y los espectros discontinuos de los gases, lo que permite introducir las ideas de cuantificación de la radiación –fotones–, de los sistemas atómicos –niveles energéticos–, de las magnitudes energía, momento angular, etc, que nos permitirán además explicar cualitativamente otros fenómenos, como el efecto Compton. Ahora bien, estas ideas sólo pueden considerarse como los orígenes de la Cuántica. Por ello, seguidamente, es preciso introducir la hipótesis de De Broglie y las razones que le llevaron a tan atrevida hipótesis, para que los alumnos comprendan que los electrones, fotones, etc, no son ni ondas ni corpúsculos, sino objetos de tipo nuevo con un comportamiento nuevo, el comportamiento cuántico (Feynman, 1971; Wichman, 1972; Levy-Leblond y Balibar, 1984). En conexión con el aspecto ondulatorio de toda la materia, se introducen las relaciones de indeterminación de Heisenberg, que permite realizar la crítica del concepto de trayectoria (y del determinismo subyacente). Esto lleva a la necesidad de un nuevo modelo para describir el estado y evolución de los electrones, fotones, etc, distinto de los utilizados para las partículas y ondas clásicas, lo que permite hablar cualitativamente de la función de ondas y salir al paso de algunas ideas erróneas sobre orbitales.

Se finaliza recapitulando los límites de validez de la Física clásica (es decir, estableciendo en qué situaciones es aplicable como buena aproximación y en cuáles no), las diferencias más notables entre las visiones clásica y moderna del comportamiento de la materia y mostrando los desarrollos científicos y tecnológicos más importantes que supuso la Física moderna.

En el nivel elemental, a continuación de los puntos sobre las características y dificultades de la visión clásica, se realiza una aproximación puramente cualitativa y muy elemental a la imagen cuántica del comportamiento de la materia –la Relatividad no se introduce–, lo que permite mostrar algunas características del nuevo paradigma, sus diferencias con el clásico y referirse a sus aplicaciones.

Remitimos de nuevo a los materiales donde pueden encontrarse desarrollados los correspondien-

tes programas-guía (Gil et al, 1979; Solbes, 1986; Seminario de Física y Química, 1986 y 1987). Sólo a título de ejemplo transcribimos una de las actividades utilizadas en el nivel elemental para el estudio del efecto fotoeléctrico:

A.6. Sugerir alguna nueva hipótesis sobre como puede distribuirse la energía luminosa que explique por qué en ocasiones –tal como hemos visto– si la frecuencia de la luz rebasa un cierto valor se liberan electrones de la superficie metálica, mientras que por debajo de dicho valor de la frecuencia, aunque la intensidad luminosa sea grande (aunque llegue mucha luz) no se libera ningún electrón.

4. Medida de la comprensión de algunos elementos básicos de Física moderna

Digamos en primer lugar que todos los programas-guías elaborados han sido aplicados reiteradamente en distintos cursos de enseñanza media (desde 2.º de BUP a COU), analizándose los resultados obtenidos y procediendo a su perfeccionamiento. En particular, las últimas versiones elaboradas (Seminario de Física y Química 1987) están siendo utilizadas en los cursos experimentales de la Reforma del ciclo de enseñanza secundaria postobligatoria de la Comunidad Valenciana.

Con el fin de contrastar la validez de la orientación y materiales elaborados para la introducción de la Física moderna hemos recurrido a un cuestionario que fue diseñado y utilizado para poner en evidencia las carencias del aprendizaje producido por la enseñanza habitual (Solbes, 1986; Gil, Senent y Solbes, 1987). El cuestionario consta de tres partes –presentadas a los alumnos por separado para evitar contaminaciones (ver anexo 1)– destinadas respectivamente a constatar en qué medida, los alumnos:

- Han superado la visión lineal del desarrollo de la Física, mencionando las crisis fundamentales que se han producido en su desarrollo (item 1.1).
- Conocen alguno de los problemas que originaron la crisis de la Física clásica (item 2.1).
- Conocen algunas diferencias entre ésta y la moderna (item 2.2).
- Conocen la variación de la masa con la velocidad y el carácter límite de la velocidad de la luz (item 3.1), la dualidad onda/corpúsculo (item 3.2) y la indeterminación en el comportamiento de los electrones, fotones, etc (item 3.3).

Los items permiten, además, detectar si los alumnos incurren en algunos de los errores conceptuales habituales (relativos a las relaciones masa/energía, la dualidad onda/corpúsculo, etc).

El carácter básico de las cuestiones diseñadas –fruto de un cuidadoso proceso que hemos descrito en otro lugar (Solbes, 1986)– permite poner en evidencia las más graves carencias de comprensión.

Pasamos a continuación a analizar los resultados que según nuestra hipótesis deberían mostrar diferencias muy notables entre los grupos tratados y no tratados evidenciando así la posibilidad de una introducción de elementos de Física moderna capaz de facilitar un aprendizaje significativo.

5. Análisis de resultados

Para contrastar la hipótesis de que es posible elaborar unos materiales sencillos de introducción a la Física moderna tales que los grupos tratados con ellos muestren importantes diferencias con respecto a los grupos de control, hemos utilizado como grupos experimentales 3 grupos de 2° de BUP con un total de 107 alumnos, para el nivel elemental, y un grupo de 3° y otro de COU con un total de 73 para el nivel superior, tratados por uno de los autores del presente trabajo. También se han aplicado a un grupo de 2° de BUP de 31 alumnos y otro de 3° de 38, tratados con menor detenimiento por otros profesores.

Como grupos de control hemos utilizado 5 grupos de 2° de BUP con 139 alumnos y 6 de 3° y 6 de COU con 347 alumnos.

En la gráfica 1 se representan los porcentajes de respuestas incorrectas de los alumnos del nivel elemental y superior (experimentales y de control) para la 1.ª y 2.ª partes del cuestionario. La observación de las gráficas evidencia que existen diferencias muy notables en los porcentajes de error para cada uno de los ítems, según se trate de grupos enseñados con los contenidos y metodología habituales y los grupos que han utilizado los programas-guía de actividades. Incluso cuando el tratamiento es poco detenido, muy breve y con escasas actividades, se han logrado importantes avances en los grupos experimentales lo que mostraría hasta qué punto los resultados tan negativos obtenidos por los grupos de control son debidos no a una especial dificultad de las cuestiones implicadas sino a incorrectos planteamientos didácticos.

En concreto, encontramos que al diseñar los materiales didácticos con el objeto explícito de provocar cambios conceptuales ajustados a los grandes cambios de paradigma produce en los grupos experimentales:

- El conocimiento de las crisis en el desarrollo de la Física (ítem 1.1).
- Una drástica reducción del % de alumnos que no son capaces de indicar ninguno de los fenómenos que provocaron la crisis de la Física clásica (ítem 2.1) o de las diferencias entre esta y la moderna (ítem 2.2). Más de la mitad de los alumnos de los grupos experimentales mencionan 2 ó más fenómenos y 2 ó más diferencias.
- Una considerable disminución en el porcentaje de alumnos tratados que desconocen la variación de la masa con la velocidad y el carácter límite de la velocidad de la luz (ítem 3.1). En la gráfica se constata que el porcentaje de error de los alumnos del grupo que no trabajó el programa-guía sobre re-

latividad coincide con el grupo de control, lo que corrobora nuestra hipótesis.

- Una gran reducción del número de alumnos que desconocen la difracción de, por ejemplo, los electrones (ítem 3.2).

- Finalmente, encontramos una estimable reducción del porcentaje de alumnos que son incapaces de dar razones contra las órbitas de Bohr-Sommerfeld, tanto teóricas -en conexión con las relaciones de indeterminación- como experimentales.

Todas estas notables diferencias entre los grupos experimentales y de control son, por supuesto, estadísticamente significativas, con una probabilidad de que sean debidas al azar menor en todos los casos al 1%.

Conclusiones

Las sensibles mejoras que se obtienen con los alumnos que han utilizado los nuevos materiales permite afirmar, de acuerdo con nuestra hipótesis, que es posible, con relativa facilidad, dar una imagen más correcta de la Física moderna -al igual que del resto de la Física- diseñando currícula como programas de actividades que planteen el aprendizaje como una construcción de conocimientos orientada a producir un cambio conceptual y metodológico.

Más aun, la introducción de la Física moderna aparece ahora como ocasión privilegiada para reforzar una imagen más correcta del desarrollo científico que ponga en cuestión visiones lineales y desestructuradas. Y ello incluso cuando los nuevos materiales son utilizados de forma muy somera, reduciendo el número de actividades, como se hizo en algunos grupos experimentales.

Cabe señalar finalmente que esta visión menos lineal, más "conflictiva" y creativa de la ciencia puede contribuir a incrementar el interés de los estudiantes hacia el aprendizaje de la Física superando el rechazo que produce un tratamiento lineal puramente operativo. Así parecen confirmarlos los primeros resultados obtenidos al respecto.

Referencias bibliográficas

- Carrascosa, J. y Gil, D., 1985: La "metodología de la superficialidad" i l'aprenentatge de les ciències, *Ensenyament de les Ciències*, 3, 113-121.
- Driver, R., 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Ensenyament de les Ciències*, 4, 3-15.
- Driver, R. y Oldham, V., 1986: A constructivist approach to curriculum development in science, *Studies in Science Education*, 5, 105-122.
- Feynman, R.P., 1971: *Física vol. 3. Mecánica cuántica*, (Fondo Educativo Interamericano: Panamá).
- Furio, C. y Gil, D., 1978: *El programa-guía. Una propuesta para la clase activa*, ICE, Universidad de Valencia.
- Gil, D. et al, 1979: *Física de COU. Programas-guía de trabajo para la clase activa*, ICE, Universidad de Valencia.
- Gil, D., 1983: Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, *Ensenyament de les Ciències*, 1, 26-33.
- Gil, D. y Carrascosa, J., 1985: Science learning as a conceptual

and methodological change, *European Journal of Science Education*, 1, 231-236.

Gil, D. y Mtnez-Torregrosa, J., 1987: Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, n.º extra, 44-46.

Gil, D., Senent, F. y Solbes, J., 1987: Análisis crítico de la introducción de la Física moderna. *Revista de Enseñanza de la Física* (se publicará).

Hashewh, M.Z., 1986: Towards an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, 229-249.

Hodson, D., 1985: Philosophy of science, science and science education, *Studies in Science Education*, 12, 25-27.

Lehrman, R.L., 1982: Confused Physics: A tutorial critique, *The Physics Teacher*, 20, 519-523.

Levy-Leblond, J.M. y Balibar, E. 1984: *Quantique. Rudiments*, (Intereditions: Paris).

Posner, G.S., Strike, K.A., Hewson, P.W. y Hertzog, W.A., 1982: Accomodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227.

Seminario de Física y Química, 1986 y 1987, *Iniciación a las ciencias físico-químicas en la enseñanza media. Guía del Profesor*, vol. I.

Programas-guía de trabajo para el alumno, vol. I y II.

ICE, Universidad de Valencia.

Seminario de Física y Química, 1987, *Materiales. Reforma de las Enseñanzas Medias*, Conselleria de Cultura, Educació y Ciencia, Valencia.

Solbes, J., 1986: *La introducción de los conceptos básicos de Física moderna*, Tesis doctoral, Universitat de Valencia.

Solbes, J., Calatayud, M.A., Climent, J.B. y Navarro, J., 1987: Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos, *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 189-196.

Warren, J.W., 1976: The mystery of mass-energy, *Physycs Education*, 11, 52-54.

Wichmann, E.H., 1972, *Berkeley Physics Course*, vol. IV. *Física cuántica*, (Reverté: Barcelona).

Anexo I. Cuestionario de alumnos

Cuestionario para alumnos (1.ª parte)

1. El desarrollo de los conocimientos científicos, concretamente en el campo de la física, no ha sido un proceso puramente acumulativo de "más y más conocimientos", sino que estos se han estructurado en grandes cuerpos teóricos claramente diferenciados y el paso de uno a otro ha significado auténticas crisis.

Indicar muy brevemente las crisis que se han producido en el desarrollo de la Física.

Cuestionario para alumnos (2.ª parte)

1. Hacia 1880, los físicos creían que la física había alcanzado su máximo desarrollo y que sólo eran posibles pequeños cambios y avances secundarios. Pero a comienzos del siglo XX se descubrieron una serie de hechos que no encontraron justificación en el marco de la física clásica y que provocaron una crisis que se tradujo en el surgimiento de un nuevo marco teórico (la física moderna).

Cita como mínimo, 3 de esos hechos:

-
-
-

2. La física clásica da una visión del comporta-

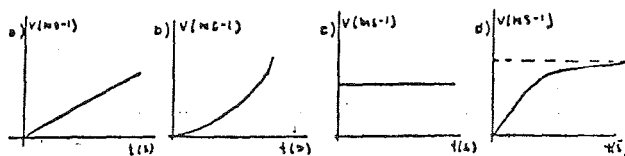
miento de la materia distinta de la visión que proporciona la física moderna.

Cita, como mínimo, 3 de esas diferencias:

-
-
-

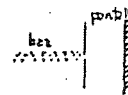
Cuestionario para alumnos (3.ª parte)

1. Supongamos un cuerpo sobre el que actúa una fuerza constante. Indicar qué gráfica representaría mejor la variación de la velocidad que experimenta ese cuerpo según la física clásica y según la física moderna.



El comportamiento clásico se representa mejor por la gráfica: a, b, c, d. Explicar:

2. Supongamos que pudieramos hacer pasar un haz de electrones a través de un estrecho orificio frente al cual se encuentra una pantalla (constituida por una placa fotográfica). Indicar qué imagen se formaría en la pantalla según la física clásica y según la física moderna.



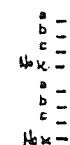
a) Aparece impresionada toda la placa de forma regular.



b) Aparecen zonas circulares concéntricas impresionadas y no impresionadas.

c) Aparece impresionada la zona que enfrenta con el orificio.

La concepción clásica se ajusta al esquema: Explicar.



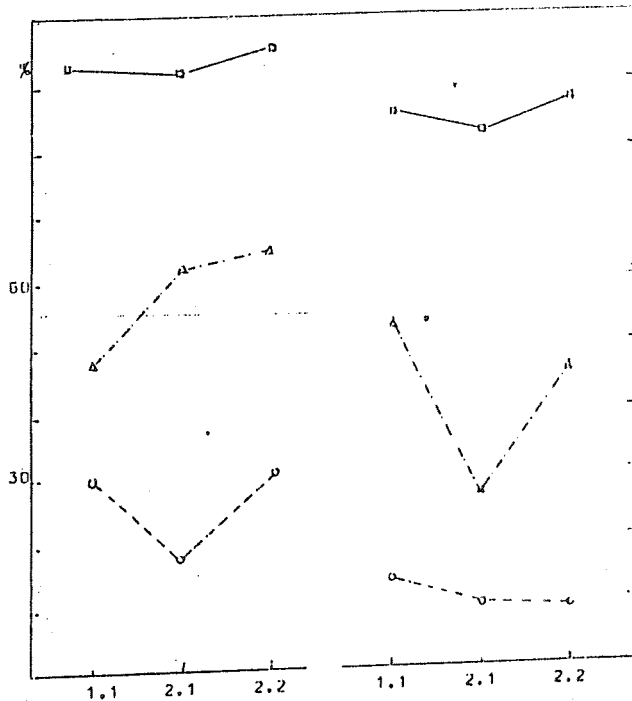
La concepción moderna se ajusta al esquema: Explicar.

3. Indica, para interpretar la estructura electrónica del átomo, qué razones existen desde el punto de vista de la física moderna en contra de las órbitas de Bohr.

Grupo de control (n = 189 nivel elemental y N = 347 superior).

Grupo experimental otros profesores (n = 31 y N = 38).

Grupo experimental uno de los autores (n = 107 y N = 73).



Porcentaje de alumnos que:

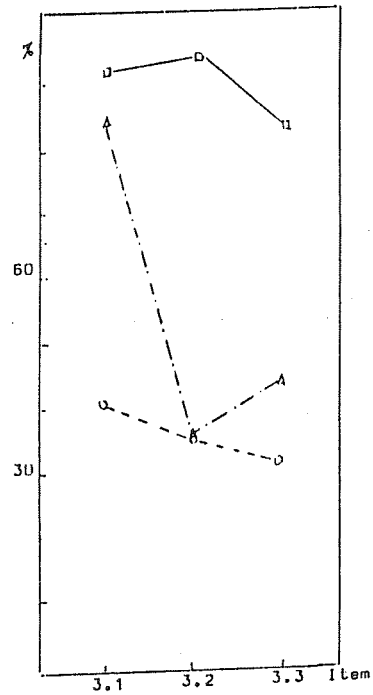
- No conocen la crisis de la Física clásica (Item 1.1).
- No citan ninguno de los fenómenos que provocaron la crisis de la Física clásica (Item 2.1).
- No citan ninguna diferencia entre la Física clásica y la Física moderna (Item 2.2).

Gráfica 1. Porcentajes de respuestas incorrectas de los alumnos del nivel elemental y superior para la 1.ª y 2.ª partes del cuestionario.

Grupo de control (N = 347)

Grupo experimental otros profesores (N = 38)

Grupo experimental uno de los autores (N = 73).



Porcentaje de alumnos que:

- Desconocen la variación de la masa con la velocidad y el carácter límite de la velocidad de la luz (Item 3.1).
- Desconocen el comportamiento dual de los electrones (Item 3.2).
- No citan ninguna razón en contra de las órbitas de Bohr-Sommerfeld (Item 3.3).

Gráfica 2. Porcentajes de respuestas incorrectas de los alumnos del nivel superior para la 3.ª parte del cuestionario.