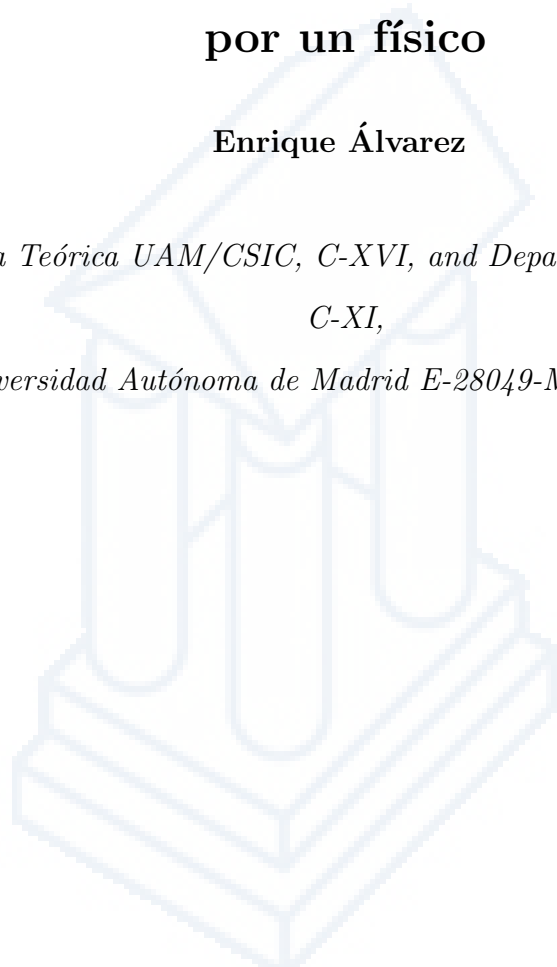


# Algunos textos de física de Bachillerato comentados por un físico

Enrique Álvarez

*Instituto de Física Teórica UAM/CSIC, C-XVI, and Departamento de Física Teórica,  
C-XI,*

*Universidad Autónoma de Madrid E-28049-Madrid, Spain*



# 1. Marco y limitaciones del estudio

Para empezar, convendría explicitar algunos puntos más o menos evidentes:

- Cualquiera que conozca mínimamente los problemas educativos se dará cuenta de que no admiten soluciones sencillas. Todos los países tienen problemas similares, especialmente en la enseñanza de las ciencias llamadas *duras*. En Estados Unidos, los estudiantes de ciencias puras en la mayoría de las universidades son de origen extranjero (asiático por ejemplo) en una gran proporción. En Gran Bretaña se ha repetido hasta la saciedad que la enseñanza de la física está en una profunda crisis. En Francia los profesores se preocupan básicamente por su seguridad e integridad física, etc.

Es posible que los problemas en el caso español sean aún más acuciantes (es, en particular, preocupante la recientemente publicitada cifra de alumnos repetidores) , pero desde luego es muy poco probable que ello se deba fundamentalmente a la mala calidad de los textos utilizados.

- El debate sobre la enseñanza, especialmente en sus niveles más elementales tiene una gran carga ideológica. El objeto del presente artículo es el de reflexionar, de la forma más aséptica posible, sobre aspectos puramente científicos de la calidad, rigor y precisión de los textos, en la esperanza, probablemente inútil, de que esta reflexión pueda ser utilizado para mejorarlos.
- Hay muchos aspectos desde los que se puede comentar un libro de texto. Cuestiones pedagógicas, por no hablar del programa al que han de ceñirse obligatoriamente los textos son extremadamente importantes, posiblemente más que las aquí tratadas.

Estos comentarios, sin embargo, están escritos desde la lejanía, por parte de un profesional de la investigación, que nunca ha dado clase en enseñanza media, y que no es especialmente competente para hablar de estos aspectos, que merecerían una

consideración especial. Resumiendo, nos vamos a ceñir *exclusivamente* a la corrección científica de los tres libros analizados, contrastándolos con uno de los textos más populares en los colegios británicos.

## 2. Las leyes de Newton: Anaya1,SM1,Santillana1

Por razones cuya comprensión se me escapa, las leyes de Newton se suponen sabidas del curso de primero de bachillerato, en el que la física se da conjuntamente con la química (por qué?). Parece ser que se ha introducido una asignatura *opcional* de Mecánica en segundo de bachillerato. En lo que sigue nos referiremos a lo que se encuentra en los correspondientes libros de primero de bachillerato.

En todo caso, las leyes de Newton son la base sobre la que se edificó la física como ciencia empírica. Su importancia no puede ser exagerada. No son nada intuitivas; los alumnos (y el hombre de la calle) asocia *fuerza* con aquello que produce velocidad, no con aquello que *cambia* la velocidad. El concepto de fuerza está asociado al concepto de sistema inercial (como aquellos en los que la primera ley de Newton es válida), y existe una delicada relación entre un sistema no inercial y un campo gravitatorio (son indistinguibles localmente).

Naturalmente no es razonable explicar todos los matices desde el principio (aunque una de las funciones de un libro de texto es sin duda la de dar alimento intelectual a todos sus lectores, incluidos los muy brillantes), pero sí que hay que explicar estas leyes de forma pausada, insistiendo en la confirmación experimental de los conceptos más difíciles, etc. Por ejemplo, es inevitable que muchos alumnos se hagan la pregunta: cómo se sabe que un sistema es inercial?

En este sentido la forma en la que se introduce, por ejemplo, la segunda ley de Newton en los libros de Anaya (página 109) y de SM (página 59) se puede calificar de brutal. No existe ni siquiera una mención seria de la importancia histórica que tuvo la revolución newtoniana frente a las ideas aristotélicas y cartesianas (aunque yo personalmente no soy partidario

del método historicista, este caso es sin duda uno de los pocos en los que una explicación histórica puede ayudar a entender lo revolucionario de las ideas de Galileo y de Newton). En este sentido el libro de Santillana es claramente superior. No sólo se ha discutido antes de introducir la segunda ley en la la página 55 los conceptos pre-newtonianos, sino que se discute bastante lúcidamente la tercera ley, aunque sin relacionarla con la conservación del momento lineal para sistemas aislados.

### 3. Anaya2

Veamos algunos temas en detalle. Como se verá oportunamente, muchas observaciones son comunes para todos los textos, así que no se irán repitiendo. Comenzamos por el texto que en nuestra opinión es el más completo. Incidentalmente, este libro no posee índice onomástico, lo que dificulta extraordinariamente encontrar la referencia a una palabra concreta. Este índice sí que se encuentra en los textos británicos examinados.

- La conservación de la energía. (Página 26 ). Este tema resulta muy confuso, sobre todo la introducción de las fuerzas no conservativas. No se explica por qué se conserva la energía, ni que a un nivel elemental todas las fuerzas son conservativas, excepto la gravitación, en ciertos casos (básicamente cosmológicos).
- La ley de la gravitación universal (Página 44). La tercera ley de Newton parece algo misterioso (dado no se ha introducido previamente). Probablemente sería más económico hablar de la conservación del momento lineal para el sistema aislado compuesto por las dos masas puntuales.
- El movimiento de los satélites. (Página 50). Una observación curiosa es que no se explica por qué las órbitas planetarias son elípticas (en el caso cerrado). Las leyes de Kepler se deducen sólo en el caso circular (página 56). En el libro de Santillana ni siquiera se deducen; simplemente se enuncian, lo cual es nefasto en mi opinión. No

es difícil utilizar la ecuación de la energía para encontrar la expresión explícita de las trayectorias, aunque es cierto que hay que hacer una integral, pero en todo caso se puede dibujar el potencial efectivo, y hacer un estudio cualitativo, lo cual captura la física del problema. Dado que esto no lo hace ninguno de los tres libros, sospecho que se *inspiran* unos en otros.

- La energía asociada a un movimiento armónico simple (m.a.s.) (Página 94). Esta es otra ausencia curiosa, no sólo en este libro, sino en los otros dos . La importancia del movimiento armónico simple radica en que casi todos los potenciales, en las proximidades del mínimo, se pueden aproximar por un oscilador armónico. En este sentido, es un modelo universal para fluctuaciones (pequeñas oscilaciones) de sistemas cerca del equilibrio. (Es verdad que tampoco se define este concepto; de nuevo, se puede eludir fácilmente la dificultad técnica de encontrar el mínimo de una función de varias variables recurriendo a representaciones gráficas, incluso en sistemas con varios grados de libertad. Muchas de las cosas que sí que se explican son conceptualmente mucho más avanzadas).
- Difracción (Página 124). El principio de Huyghens no hay quien lo entienda. Y es lógico que sea así, ya que los argumentos intuitivos son engañosos. Por ejemplo, no sería cierto si en vez de haber tres dimensiones espaciales hubiera sólo dos. (Esto no ha sido clarificado definitivamente hasta después de la primera guerra mundial gracias a los trabajos de Hadamard y Riesz). La onda percibida en un punto  $P$  y en un instante dado  $(t, x, y, z)$  producida por una fuente situada en tiempo  $t = 0$  , dependería no sólo de las condiciones en lo que se llama cono de luz pasado ; esto es, los puntos  $(0, X, Y, Z)$ , tales que  $t^2 = (x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2$  es decir de aquellos puntos que se encuentran en la superficie esférica centrada en el punto  $P$  y de radio igual al instante de tiempo en el que calculamos la onda . Esto es lo que ocurre en el espacio tridimensional ordinario, y es el enunciado preciso del principio

de Huyghens. Pero en un mundo imaginario en el que sólo hubiese dos dimensiones espaciales, la onda en  $P$  dependería de todo el interior del cono, esto es, de los puntos tales que  $t^2 - (x - X)^2 + (y - Y)^2 \geq 0$ , que constituyen el interior del círculo centrado en el punto, que ahora es bidimensional, y de radio la coordenada temporal.

En ambos casos estos resultados corresponden a la idea intuitiva de causalidad, unida al hecho de que la onda se propaga con una cierta velocidad.

Seguramente no merece la pena navegar por esas procelosas aguas a tan tierna edad, pero creo que no se deben de mencionar conceptos confusos.

Es curioso que en tanto que los textos británicos, así como el conocido curso de Feynman <sup>2</sup> evitan prudentemente mencionar este tema, Fishbane y coautores <sup>3</sup> presentan un tratamiento tan poco satisfactorio como el de sus colegas españoles.

- Analogías y diferencias entre campos electromagnéticos y campos gravitatorios. (Página 248). Evidentemente, la no existencia de monopolos magnéticos es una propiedad esencial de las ecuaciones de Maxwell, y también de la naturaleza (con la precisión adecuada). La ecuación de Maxwell que incorpora esta propiedad es  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ . Aunque sí que se escribe esta ecuación, no se recalca debidamente su significado físico. Por ejemplo, por qué no se puede simplemente escribir una fuente para esa ecuación? (Dirac).

Sin embargo la omisión más grave, desde mi punto de vista, es el que no se escriba lo que en el libro se llama la tercera ecuación de Maxwell (y que para Feynman es la

---

<sup>2</sup>El curso que dio el conocido físico americano Richard Feynman en CalTech, ha sido redactado en tres volúmenes y se considera una de las joyas de la enseñanza de la física a un nivel de primeros cursos de carrera.

<sup>3</sup>El curso de Fishbane et al. es uno de los más modernos y apreciados de los que se enseñan en las universidades americanas para alumnos de ciencias puras

cuarta). Esta ecuación reza, en la notación de este último autor,

$$c^2 \vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{\vec{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1)$$

El último término es precisamente el único que descubrió Maxwell, y corrige una inconsistencia entre las ecuaciones tal y como se escribían previamente, ya que sin el término de Maxwell se deduciría, tomando divergencias, que

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (2)$$

cosa que no es cierta en presencia de una densidad de carga variable, si no que

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3)$$

de acuerdo con Maxwell (aunque los razonamientos que él utilizó resultan arcanos). Ya veremos que al no hablar de ello, resulta imposible entender el por qué existen ondas electromagnéticas.

- Propagación rectilínea de la luz. (Página 266). En ningún momento se explica por qué la luz se propaga en línea recta. Esta pregunta es inevitable, sobre todo a la luz de informaciones posteriores sobre óptica física y ondas electromagnéticas, que incluso se intuye en algún momento que están compuestas de fotones.
- Naturaleza de las ondas electromagnéticas (Página 254). Efecto fotoeléctrico (Página 358). Es muy difícil de entender lo que se dice, dado que no se escriben correctamente las ecuaciones de Maxwell ni la ecuación de ondas. No se entiende en qué sentido una onda electromagnética está compuesta de fotones. De manera general, no se explica en qué sentido la física clásica es un límite de la física cuántica, en particular en este contexto. Ahora eso sí, se dedican 32 páginas a óptica geométrica. Es ésta una actividad interesante, pero que se debería de relegar al laboratorio, y darle la importancia que merece en un curso formativo, que no es mucha.

- El principio de relatividad de Galileo (Página 330). Es, en mi opinión de todo punto imposible entender lo que es un sistema inercial (y por consiguiente, las leyes de Newton) si no se entiende lo que *no* es un sistema inercial, con sus correspondientes fuerzas de Coriolis. Sé bien que esto no es fácil, pero creo que no se puede ignorar.
- Energía relativista (Página 346). Es bastante surrealista que se introduzcan las transformaciones de Lorentz, sobre todo dado el tratamiento incompleto dado a los sistemas inerciales que ya hemos mencionado. Pero como lo hacen todos los textos consultados, debe de ser que está en el programa. Ni que decir tiene que no hay rastro de estas cosas en los textos británicos. De todas formas, y como es lógico, el concepto de energía relativista resulta extraordinariamente confuso. Después de explicar en capítulos anteriores que el cero de energías no tiene relevancia física, que lo único que se mide son diferencias de energías, ahora resulta que la energía de una partícula en reposo (que es una constante) sí que tiene relevancia. Esto no hay quien lo entienda.
- Reacciones nucleares (Página 396). Es curioso que no se mencione la existencia del armamento nuclear.

## 4. SM2

Tampoco este texto se beneficia de un índice onomástico.

- Mínimos cuadrados (Página 13). Es encomiable que se presente de forma más o menos realista la estimación del error inevitable en toda medida. Es dudoso que el lugar para ello sea el libro de texto, pero en todo caso, es sin duda una parte esencial de la física, y es razonable que se enseñe.
- En este libro sí que se mencionan los sistemas no inerciales (Página 38), lo cual ya de por sí está bien. Sin embargo la discusión es muy esquemática, y me parecería sor-

pendiente que alguien entendiera algo tan abstracto como el principio de d' Alembert con la discusión del texto. Valdría la pena hacer un esfuerzo de explicación y estudiar en detalle muchos ejemplos. Pero claro, hay que cubrir el programa...

- En la página 162 se dice que la velocidad de la luz es

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (4)$$

sin *ninguna* justificación. Ésta es una de las fórmulas que han alejado de la física a generaciones enteras de estudiantes. Ya hemos mencionado antes al hablar del libro de Anaya que parece inevitable que los alumnos se hagan preguntas que no están respondidas en el texto. Lo que ocurre es que muchas veces sí que sería posible hacerlo, sin necesidad de resolver la ecuación de ondas. En todo caso, la velocidad de la luz es una de las constantes más importantes en la naturaleza, y se merecería una introducción un poco más comprensible.

- También este texto justifica la tercera ley de Kepler, sólo para órbitas circulares, en la página 65.
- En este texto sí que hay una introducción razonable (Página 319) de la física subyacente a las centrales nucleares de fisión, así como a las hipotéticas de fusión. La bomba atómica tampoco aparece por ninguna parte. Se mencionan en cambio los problemas de los residuos radiactivos.
- En uno de los epígrafes llamados *Ciencia, tecnología y sociedad*, más concretamente en la página 327, se comenta la peripecia del *amplificador de energía*, un fallido intento de conseguir energía nuclear limpia liderado por los físicos Carlo Rubbia y Juan Antonio Rubio, así como la existencia del reactor nuclear *natural* (es decir, no construido por el hombre) en Oko. Aunque quizás se podrían encontrar ejemplos más ilustrativos, creo que es una buena idea el utilizar instalaciones y científicos españoles siempre que

ello sea posible, aunque sólo sea para demostrar que no existe una incompatibilidad genética para hacer ciencia.

- Finalmente, el libro termina con un apéndice (que comienza en la página 343) bastante correcto, aunque un poco terso, sobre cálculo vectorial en tres dimensiones, y sus aplicaciones a la cinemática.

## 5. Santillana2

No es este texto el que va a romper la norma sobre la ausencia de índice onomástico.

- Muy en la línea que preconizábamos un poco más arriba, el libro dedica unas cuantas páginas (por ejemplo, la 52 y siguientes) a describir el Observatorio del Teide, en el Roque de los Muchachos de la isla de La Palma.
- Ni este libro ni el anteriormente comentado de SM mejoran en absoluto (Página 70) el tratamiento del movimiento armónico como una aproximación al movimiento de un sistema arbitrario cuando se le separa ligeramente respecto de una posición de equilibrio. El análisis es, sin embargo, más pausado y menos técnico que el de los libros anteriores.
- En la página 108 se enuncia la tercera ley de Kepler, sin siquiera demostrarla para el caso particular de la órbita circular, lo cual, a mi entender, es sumamente perjudicial. Es mucho mejor no hablar que lo que no se puede justificar adecuadamente.
- En la página 166 se vuelve a repetir la fórmula nefanda sobre la velocidad de la luz, aunque hay que reconocer que se hace un esfuerzo por explicar un poco la física de las ondas electromagnéticas.

Posiblemente sea éste el momento para indicar cómo yo creo que se podría tratar el

tema. Tomando rotacionales en la ecuación

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (5)$$

y usando la ecuación correspondiente a  $\vec{j} = 0$

$$c^2 \vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (6)$$

y teniendo en cuenta que en el vacío  $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$  se obtiene sin dificultad que

$$\left( \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \vec{\nabla}^2 \right) \vec{E} = 0 \quad (7)$$

Es decir, que en el vacío el campo eléctrico satisface la ecuación de ondas de d'Alambert. Manipulaciones análogas demuestran que el campo magnético satisface la *misma* ecuación. (Es increíble por demás que no haya ninguna mención al papel tan parecido, pero sutilmente diferente que juegan los campos eléctrico y magnético en las ecuaciones de Maxwell, y por consiguiente en la Naturaleza, en la medida en la que esté descrita por tales ecuaciones). Evidentemente no es el momento de ponerse a analizar la ecuación de ondas. Pero es fácil verificar que el *ansatz* de ondas sinusoidales, esto es

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{x}) \\ \vec{B} &= \vec{B}_0 \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{x}) \end{aligned} \quad (8)$$

(donde  $\vec{E}_0$  y  $\vec{B}_0$  son dos vectores constantes) es una solución de la ecuación de ondas siempre que  $\omega^2 = c^2 k^2$  (lo cual implica que su velocidad es precisamente igual a la constante  $c$  que aparece en las ecuaciones de Maxwell). Las ecuaciones  $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$  y  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$  implican que

$$\vec{k} \cdot \vec{E}_0 = \vec{k} \cdot \vec{B}_0 = 0 \quad (9)$$

(es decir, que estos dos vectores constantes son *transversos* a la onda). Las otras ecuaciones se traducen en

$$\vec{k} \times \vec{E}_0 = -\omega \vec{B}_0$$

$$c^2 \vec{k} \times \vec{B}_0 = \omega \vec{E}_0 \quad (10)$$

explicitando que los campos eléctrico y magnético son mutuamente ortogonales.

- El tratamiento del principio de relatividad de Galileo en la página 252 es sumamente esquemático. Las críticas que hemos hecho a los libros anteriores se pueden hacer extensivas al que nos ocupa.
- Sin embargo es éste el único libro que habla de la bomba nuclear (Página 291). Incluye unas impresionantes fotografías sobre un ensayo nuclear francés en el atolón de Mururoa, en Polinesia, así como un recuadro sobre el lanzamiento de la bomba sobre Hiroshima en 1945.

No alcanzo a entender por qué éste es un tema que se obvia en los otros textos (así como en los de Feynman y Fishbane). Es indudable que la bomba llamada vulgarmente atómica (junto con Chernóbil) es la causa principal del rechazo de una parte importante de la población hacia la energía nuclear, e incluso hacia la física en casos extremos. Por otra parte no se puede negar que las relaciones entre estados soberanos han cambiado radicalmente debido a la existencia del armamento nuclear, y ello para siempre, o al menos hasta que todo el susodicho armamento nuclear se ponga a disposición de las Naciones Unidas u organismo equivalente.

- Finalmente, dedica un apartado titulado *últimos avances científicos* a hablar sobre la posibilidad de existencia de ordenadores cuánticos, lo cual presupone el concepto de *coherencia cuántica*, que es dudoso que posean los alumnos. Sin embargo ya he mencionado que la idea me parece interesante, sobre todo en la medida en que se puede hablar sobre investigaciones competitivas que se efectúan con una importante participación española, como es el caso.

## 6. Algunos comentarios sobre unos textos ingleses

Hemos utilizado cuatro textos que constituyen un todo armónico. El primero se titula *Mechanics and Radioactivity*, (Mecánica y radioactividad) y el segundo *Electricity and thermal physics* (Electricidad y física térmica). Estos dos corresponden a los llamados AS, más o menos equivalentes a primero de bachillerato. El tercero *Fields, Forces and Synthesis*, (Campos, fuerzas y una síntesis) y el cuarto *Waves and our Universe* (Ondas y el Universo) que corresponden a los A2 *A levels*, esto es, segundo de bachillerato. En Inglaterra existen varios sistemas o estructuras de examen diferentes (*examining board*) independientes, y los textos son adecuados al programa de cada cuerpo de examen. Todos ellos dan acceso a la universidad en pie de igualdad. Esto es, no hay unos textos únicos para todos los colegios. Cada colegio e, incluso cada profesor puede escoger su sistema de examen, que además no tiene que ser el mismo para todos los cursos, aunque son siempre corregidos de forma centralizada en el Reino Unido. Estos textos en particular corresponden al sistema *Edexcel*.

La característica principal de estos libros es su brevedad (alrededor de unas ochenta páginas cada uno) y su sentido físico, siempre partiendo del análisis de un experimento, con un nivel matemático mucho menos elevado que en los textos españoles. Poseen magníficos índices onomásticos que facilitan su consulta.

El ritmo es muy pausado, buscando primero la comprensión intuitiva antes que la formulación abstracta. Están claramente pensados como continuación y desarrollo de clases dadas en laboratorios, y no tienen ningún reparo en mezclar temas de diferentes áreas de la física si con ello piensan que se clarifican algunos conceptos. No es que sean menos rigurosos que los textos españoles, simplemente, el énfasis está puesto en cosas distintas, en lo que podríamos llamar conceptos físicos. No tiene sentido efectuar un análisis comparativo, ya que el enfoque es mucho menos teórico y el programa, mucho menos extenso.

No puedo ocultar mi admiración por estos textos.

Para poner un ejemplo explícito, en el volumen *Waves and our Universe*, que se dedica por entero a ondas, salvo la última parte sobre física cuántica, hay un capítulo titulado *Experimental study of simple harmonic motion (i.e. estudio experimental del movimiento armónico simple)*. En él se invita a los estudiantes a variar las constantes características (llamémoslas  $k$ ) de los diferentes muelles (por ejemplo combinándolos en serie, o bien en paralelo), midiendo cuidadosamente los períodos resultantes, y representando al final el período  $T$  en función de  $\frac{1}{\sqrt{k}}$ . Analizando los resultados, se llega a la conclusión de que existe una proporcionalidad directa entre estos dos factores.

## 7. Libros de texto franceses

En el sistema francés existe un temario obligatorio, llamado *Term S*, del cual hemos examinado dos textos, correspondientes a las editoriales Hachette y Bordas. Existe también una asignatura optativa, de especialidad, de la que hemos examinado el texto de la editorial Hachette, y que llamaremos en lo sucesivo Hachette S. Todos los libros disponen de un índice onomástico, que, aunque precario es extraordinariamente útil.

Lo primero sorprendente en estos textos, por otra parte muy similares entre sí, es el temario, que está organizado de una forma poco familiar en nuestro país. Empieza con un tratamiento general sobre ondas, siguiendo con nociones sobre la desintegración radiactiva, estudio de circuitos eléctricos con autoinducción, y terminando con un tratamiento de sistemas mecánicos haciendo hincapié en su evolución temporal. El nivel físico es muy inferior al de los libros españoles, pero sin embargo se mencionan (y se resuelven) ecuaciones diferenciales ordinarias, utilizando la notación vectorial por doquier. De hecho, quizás podría explicarse el temario como *aquellos temas sencillos de física que se pueden entender con ecuaciones de diferencias ordinarias de segundo orden*. En general el tratamiento es muy sistemático, lleno de apartados y subapartados, a la altura del tópico sobre los libros franceses. El desarrollo de los conceptos es, sin embargo, mucho más pausado que en los

textos españoles, y el temario es mucho menos extenso. Evidentemente, no se llega a la relatividad especial.

- Por citar un ejemplo, en el libro de Bordas las leyes de Kepler se deducen (en la página 218) en su forma más sencilla, sin mencionar la ecuación de conservación de la energía. Las ecuaciones de Maxwell ni siquiera se mencionan. Una cosa que sí que se hace (en la página 234) es el explicar las ondas como oscilaciones en torno a posiciones de equilibrio.
- En el libro de Hachette (página 312) sí que se introduce en este mismo contexto, la aplicación de la conservación de la energía en el estudio de los sistemas mecánicos.

Mucho más interesante me parece la idea del curso de especialidad ,que es común a física y química , en el cual, en vez de explicar nuevos conceptos y abarcar todavía más temario, se dedican a desarrollar con más profundidad aplicaciones de lo que ya se ha aprendido. Por ejemplo, estudio de la formación de imágenes, telescopios astronómicos, el microscopio, el telescopio de Newton, los sonidos musicales, instrumentos de cuerda, instrumentos de viento, transmisión de información por medio de ondas electromagnéticas, incluyendo el estudio de un receptor de radio.

- Es curioso que cuando en la página 91 del Hachette S se comienza el estudio de las ondas electromagnéticas, se analizan con un cierto detalle sus propiedades, cómo se pueden modular en amplitud y en frecuencia, etc, pero no se entra en por qué su velocidad es la velocidad de la luz, ni mucho menos en justificarlo a partir de las ecuaciones de Maxwell. Tampoco escriben la *fórmula nefanda*.

## 8. Conclusiones

En conclusión, los tres textos españoles examinados con cierto detalle son muy correctos dentro del marco en el que han sido concebidos. El nivel matemático es claramente

superior al de los textos británicos examinados, aunque no al de los franceses. La extensión del temario hace que no se profundice casi nada en ninguno de los temas. En general la sensación que se tiene al leerlos es la misma que la que se tiene al contemplar el cebado de las ocas francesas para la producción del *foie gras*. La diferencia principal es que así como en el caso de las ocas el objetivo del cebado está claro, en el caso de la enseñanza no ocurre lo mismo. Desgraciadamente perdura la tradición libresca de la enseñanza española en la que se prefiere mucho y malo a lo poco y bueno. En general los experimentos se mencionan sólo de pasada, o en recuadros especiales, comparables al de las biografías de físicos famosos o a los de las aplicaciones de la física a la sociedad contemporánea.

El temario es más o menos del mismo nivel que el de textos generales de universidad, sólo que sin el uso del cálculo infinitesimal (por qué, ya puestos?) es decir, lo que los americanos llaman *física sin cálculo*. En este sentido el más abrumador es el texto de Anaya, y el más sensato, el de Santillana.

Sin embargo, la crítica más severa que creo que se puede hacer a los tres libros es que no están destinados a enseñar a pensar, y a reflexionar sobre la experiencia, sino a utilizar fórmulas, muchas de las cuales ni siquiera se deducen (cosa ya de por sí bastante grave). La física se presenta como un impresionante edificio lleno de fórmulas, con una justificación retórica pero lejana en el experimento. La física a este nivel debería, a mi entender, enseñarse fundamentalmente en el laboratorio, y sólo después formalizar ligeramente las experiencias, fomentando el espíritu creativo de los alumnos. Es muy importante aprender a preguntar, y una gran parte de la creatividad consiste en hacerse las preguntas correctas.

Dicho de otra forma, los libros carecen de *alma*, esa cualidad que distingue a los libros que han hecho historia, desde los clásicos de Sommerfeld hasta los de Landau, pasando por los de Feynman. No está dado a todo el mundo llegar a ese nivel, pero al menos se puede intentar. Los tres libros son muy parecidos. Sospecho que ello debe de ser parcialmente debido a que los autores se *inspiran* unos en otros, pero probablemente también a la falta de flexibilidad del programa. Nada hay que produzca mayor satisfacción a un legislador

español que el hacer unos programas rígidos y encorsetados, donde no hay casi posibilidad alguna de diversificar la materia en función de las habilidades o gustos del estudiante. Esta tradición, que compartimos (en forma de caricatura) con los franceses (aunque con las matizaciones que recordará el lector atento) , contrasta con la mucho más liberal de los países anglosajones. Una de las frase más oídas al elaborar un plan de estudios es la famosa: *y como puede ser que los alumnos salgan sin saber tal cosa...* (que en general es un detalle propio de la especialidad de la persona que formula la pregunta). Con ello con frecuencia desatendemos lo más importante, que es enseñar a pensar, y, en no pocas ocasiones, cercenamos todo asomo de creatividad.

Antes de terminar, conviene hacer unas pequeñas matizaciones.

- El mejor texto del mundo es inútil si el profesor no lo utiliza adecuadamente. Este aserto general es tanto más importante cuanto menor es la madurez de los estudiantes. En España existe una tradición curiosa, y es que las plazas de profesores de enseñanza media se convocan conjuntamente para física y química. Esto hace que en la práctica muchos profesores de física sean químicos (así como muchos profesores de matemáticas son físicos). Sería interesante hacer un estudio del efecto (probablemente pernicioso) que esto origina en el tipo de docencia impartido.
- Asimismo es importante el objetivo del estudio en la mayoría de los casos, que no es otro que el aprobar los exámenes. Existe en España la nefasta costumbre de primar aspectos memorísticos, (hay que saberse las fórmulas...) e insistir en los exámenes en temas marginales en vez de centrarse en lo que realmente es imprescindible que sepa un alumno de bachillerato. Esto contrasta con la tradición inglesa, que es exactamente la opuesta: en los exámenes de los *A-level* (que, como ya hemos indicado, es el equivalente aproximado del bachillerato) se les permite consultar un formulario. Es justo reseñar que por el contrario, en el Bac francés se hace mucho énfasis en el desarrollo de la memoria.

- Evidentemente, una condición necesaria para poder dar clase en los laboratorios es que éstos existan, y estén convenientemente dotados y adecuadamente mantenidos. Me da la impresión de que existe un amplio campo de mejora en este sentido.
- Los atletas *esporádicos* no saltan pértiga. Lo que quiero decir con esto es que hay algunas actividades humanas que son más fáciles que otras. El correr en el campo con frecuencia puede facilitar el correr el fondo o el medio fondo, pero hay otras pruebas atléticas que necesitan de mucho entrenamiento específico, de mucha técnica. Nadie es capaz de saltar con pértiga sin haberse entrenado muchas horas, y a nadie se le ocurre decir que la pértiga es una actividad sencilla. Pues bien, la física tampoco es sencilla. Necesita de muchas horas de reflexión, tanto en el laboratorio como en el papel, y de mucho entrenamiento en la resolución de problemas. Además de ello, las leyes mismas de la física están escritas en lenguaje matemático (Galileo), y aunque hay grandes físicos como Faraday que evitaban el aparato matemático gracias a su gran intuición, esto no es posible hacerlo en general. Me da la impresión, quizás superficial, de que hoy en día muchos alumnos huyen de lo que es difícil, de lo que cuesta esfuerzo. No sé donde está la solución, pero sí que creo saber dónde *no* está: no creo que conduzca a nada positivo hacerles creer que la física es fácil. Lo que ocurre es que también hay belleza y sencillez en ella, como en toda la ciencia básica, y eso es quizás lo que habría que intentar transmitir. No siempre lo hermoso es fácil de alcanzar.

## Referencias

- [1] J.F. Dalmau, M.Pérez, J.Satoca y F. Tejerina, Física. 2 Bachillerato (Editorial Anaya, 2003)  
Física y química (bachillerato) (Editorial Anaya, 2002)
- [2] Collection Durandeu/Mauhourat. Physique Term S ,*Hachette*, (Hachette éducation, 2006)
- [3] Collection Durandeu/Durupthy. Physique Chimie. Term Spécialité, *Hachette S*, (Hachette éducation,2007)
- [4] Collection Space. Physique Term S, *Bordas*, (Bordas,2007)
- [5] J. Puente, C. Lara y N. Romo, Física. 2 Bachillerato. (Editorial SM ,2003)  
M. Agustench, J.I. del Barrio, V. del Castillo y N. Romo, Física y Química (Bachillerato) (Editorial SM, 2005)
- [6] Grupo Orión de Didáctica de la Física, Física. 2 Bachillerato (Editorial Santillana, 2003)  
Jaime Carrascosa Alis, Salvador Martínez Sala y Joaquín Martínez Torregrosa, Física y Química (bachillerato) (Editorial Santillana, 2002)
- [7] M. Ellse and C. Honeywill, *Waves and Our Universe* (Nelson Advanced Science, U.K., 2003)  
*Mechanics and Radioactivity*  
*Electricity and thermal physics*  
*Fields, Forces and Synthesis*
- [8] Paul M. Fishbane, Stephen Gasiorowicz, Stephen T. Thornton, *Physics for Scientists and Engineers, Extended Version* (Prentice Hall, 1993)

- [9] R. P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics*. Vols. I,II,III. (Addison Wesley)
- [10] A. Sommerfeld, *Lectures in theoretical physics* (Academic Press)
- [11] L. Landau y E. Lifshitz, *Curso de física teórica* (Reverté)

