



¿Física contemporánea o física para la ciudadanía?

Jordi Solbes
Universidad de Valencia

En este artículo se muestra cómo, ante el abandono de los estudios de física, algunos autores proponen como solución actualizar contenidos con temas de física contemporánea. Sin negar esta posibilidad, pero cuestionando qué se entiende por contemporaneidad de la física, vemos cómo las investigaciones en didáctica de las ciencias proponen otra forma de actualización que denominaremos física para la ciudadanía. Se sugieren contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales para ésta.

Palabras clave: didáctica de la física, física contemporánea, física para la ciudadanía.

Contemporary physics or citizenship physics

This paper responds to the problem of the decreasing number of students studying physics. Several authors have suggested updating contents by introducing contemporary physics topics. Without denying the merits of this possibility yet also questioning what constitutes contemporary physics, this paper looks at how research into science teaching offers another form of updating what we call citizenship physics. It sets out concepts, procedures and attitudes with this in mind.

Keywords: physics teaching, contemporary physics, citizenship physics.

Desde finales de los años ochenta, se constata el abandono de los estudios científicos y técnicos, en particular los de física e ingenierías, por los estudiantes universitarios y, en Europa y EEUU, previamente por los de secundaria, lo que impide el logro de una economía del conocimiento (Rocard, 2007) que podría contribuir a la salida de la crisis. En el caso español, que a principios de los años noventa aún parecía inmune a esta situación, se viene observando desde finales de esa década, momento en que la LOGSE aumentó la optatividad, una disminución del alumnado que escoge las asignaturas optativas de física y matemáticas (Solbes, Monserrat y Furió, 2007; Solbes, 2011). Según cual sea el

diagnostico del problema, tendremos diversas soluciones posibles.

■ ¿Qué dice la investigación en didáctica de las ciencias?

La didáctica de las ciencias puede ayudarnos a diagnosticar las causas del abandono y a dar pro-

Se viene observando desde finales de los 90 una disminución del alumnado que escoge las asignaturas optativas de física y matemáticas

puestas para la física escolar. Así, el informe Rocard (2007) afirma que «los orígenes de esta situación pueden encontrarse en la manera como se enseña la ciencia». Pero en realidad se trata de un fenómeno complejo, multicausal, en el que influye, evidentemente, la forma en que se dan las ciencias en el sistema educativo y el abandono por parte de las chicas de la física, lo que acentúa el problema en esta disciplina (Solbes y otros, 2007; Solbes, 2011).

En cuanto al *estatus de las ciencias en el sistema educativo*, nos encontramos en un momento en que el decreto Wert puede cambiarlo, y seguramente no a mejor, como lo prueba que mantenga el «endemismo ibérico» (ya desaparecido en Portugal y Cataluña) de mantener unidas física y química en 1.º de bachillerato o la desaparición de las Ciencias para el mundo contemporáneo. Éstas permitían realizar una enseñanza divulgativa y contextualizada de la ciencia a todos los estudiantes de bachillerato e introducir contenidos de física contemporánea como astrofísica (el origen del Universo, la génesis de los elementos, la exploración del sistema solar), nuevos materiales y el procesamiento, almacenamiento e intercambio de la información.

En cuanto a la *imagen pública*, en las encuestas que se hacen al público sobre cuestiones científicas se constatan dos hechos llamativos. En primer lugar, que la respuesta más abundante es «no sabe, no contesta», lo que indica que la gente de la calle está poco informada.

Se observa una confusión entre ciencia y tecnología, y la mayoría de la población señala que la ciencia/tecnología afecta mucho a nuestras vidas tanto positiva como negativamente

En segundo lugar se observa una confusión entre ciencia y tecnología y que la mayoría de la población señala que la ciencia/tecnología afecta mucho a nuestras vidas tanto positiva (aplicaciones a la vida cotidiana) como negativamente (armamentos, energía nuclear, contaminación, clonación, etc.).

Además, en el cine, la televisión o los cómics aparece una visión deformada y empobrecida de la actividad científica. Las personas que trabajan en ciencia son presentadas como alguien genial, varón, blanco, que trabaja aislada e individualmente, o, lo que es peor, como antihéroes perversos, locos, o instrumentos del poder (Petit y Solbes, 2012). También se ha detectado en el artículo citado la confusión de muchos alumnos entre ciencia-ficción y fantasía-magia (*Harry Potter*, *El señor de los anillos*), lo que no beneficia a la ciencia, ya que muchos fenómenos y aparatos científicos sin su correspondiente explicación se convierten en magia o en «cajas negras», en las que apretando un botón conseguimos satisfacer necesidades sin esfuerzo, mágicamente.

Otro factor externo es la escasa presencia de la ciencia en los medios, sobre todo si se la compara con otras actividades sociales, y siempre sesgada de forma superficial hacia los documentales sobre la naturaleza.

En cuanto a las *relaciones género-aprendizaje de las ciencias*, una de las primeras constataciones es la invisibilidad de las científicas en los contenidos enseñados, como también la diferencia de aspiraciones, expectativas y comportamientos del profesorado y alumnado en la enseñanza de las ciencias. Además, una enseñanza descontextualizada, que no tenga en cuenta la contribución de la ciencia a las necesidades humanas parece ser menos interesante para las chicas (Vázquez y Manassero, 2007), lo que podría explicar su gran abandono de los estudios de física en secundaria.

Respecto a la *enseñanza*, encontramos una ciencia descontextualizada de la sociedad y del entorno (sin relaciones CTSA), poco útil y sin temas de actualidad, clases aburridas y poco participativas, escasez de prácticas de laboratorio o de campo y el fracaso en la evaluación (Solbes y otros, 2007). Estos factores se hallaban compensados hace pocos años por un mayor prestigio y mayores posibilidades de colocación, aspectos que, actualmente, no son tan claros para los estudiantes.

Ante estos problemas, que hemos tratado de resumir muy brevemente, las propuestas de solución a nivel mundial pasan por mejorar la comunicación de la física con la sociedad y por plantear cambios en la enseñanza de la física que puedan contribuir a hacerla más interesante para el alumnado. En el primer aspecto se realizan propuestas de acercar la física a los ciudadanos: visitas a centros científicos, museos de ciencias interactivos, bares de ciencias, periodismo científico, fiestas de la ciencia, escritura de novelas científicas y mejorar la divulgación en ciencias o revistas. En cuanto a la mejora de la enseñanza de la física se han realizado propuestas para modernizar los currículos, incluyendo temas actuales y recortando los tradicionales, introduciendo aspectos de historia de la física y de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad-ambiente (CTSA) o juguetes científicos y pequeñas experiencias cotidianas.

■ ¿Física contemporánea?

Así, algunos autores, preocupados por el poco interés de los alumnos por la física y en un intento de transformar los contenidos en algo atractivo, recomiendan modernizar los cursos de física de secundaria y los introductorios a la universidad mediante la presentación de las ideas modernas cuánticas y relativistas (Holbrow y otros,

Las propuestas de solución a nivel mundial pasan por mejorar la comunicación de la física con la sociedad y por plantear cambios en la enseñanza de la física que puedan contribuir a hacerla más interesante para el alumnado

1995) o con temas de física contemporánea, como la superconductividad o las partículas elementales (Ostermann y Moreira, 2000).

Pero un criterio meramente cronológico, como el que denomina física clásica a la que va de Galileo a finales del siglo XIX, física moderna a la que se produjo a principios del siglo XX y física contemporánea a la más reciente, plantea problemas como los que tienen los historiadores con la edad contemporánea, que ya tiene una duración de más de dos siglos y no está claro cuándo finaliza. Otros problemas son que con ese criterio no queda claro que el modelo de Rutherford de 1911 es clásico, porque se basa en las ideas de Newton sobre el movimiento de electrones sometidos a fuerzas coulombianas, y que algunos físicos consideran que la relatividad especial no es física moderna, porque las ecuaciones de Maxwell (al contrario que las de Newton) no cambian cuando se describen en distintos sistemas de referencia inerciales.

Pero si entendemos por *física moderna* aquella física que requiere para su interpretación las teorías cuántica y relativista (Tipler, 2003), esto incluye la física atómica y molecular, el estado sólido, la física nuclear y de partículas, las teorías cuánticas de campos (electrodinámica cuántica, electrodébil, cromodinámica), es decir, la física más reciente. Por tanto, sólo se tendría que denominar *física contemporánea* a las teorías que superen las contradicciones de la física moderna unificando la teoría cuántica y la relati-

Se tendría que denominar *física contemporánea* a las teorías que superen las contradicciones de la física moderna unificando la teoría cuántica y la relatividad general

vidad general, es decir, las nuevas teorías de supercuerdas o la gravitación cuántica, que ocupan, sobre todo la primera, gran parte de la divulgación física reciente (AAVV, 2006; Greene, 2006; Smolin, 2007).

Pero la teoría de cuerdas, pese a haberse iniciado a principios de los años setenta, aún no ha sido comprobada experimentalmente (Smolin, 2007). En la cuarta y última parte de su excelente libro, el físico Smolin explica mediante la sociología de la ciencia cómo es posible que una teoría no comprobada consuma tantos recursos e investigadores, y señala que «una teoría científica que no realiza predicciones y que, por tanto, no puede ser sometida a la experimentación no puede fracasar nunca, pero una teoría así no puede llegar a ninguna parte mientras la ciencia siga significando conocimiento obtenido a partir de argumentación racional basada en pruebas» (p. 477) y, por último, pide: «Al público instruido: sean críticos. No crean todo lo que oigan. Cuando un científico afirma haber obtenido algo importante, pidan que les enseñe las pruebas» (p. 479). En resumen, toda una lección de pensamiento crítico.

En la literatura de divulgación encontramos dos posibilidades para actualizar la física y darle una mayor contemporaneidad. La primera es la mayoritaria (Greene, 2006; Smolin, 2007; Alemany, 2011) y en ella se tratan, sin apenas matemáticas, temas como las fuerzas y movimientos, la termodinámica, el campo electromagnético, la relatividad especial y general, la

teoría cuántica, las partículas, la cosmología e incluso temas más recientes cronológicamente como la teoría del caos, la teoría de cuerdas, etc. Como la comprensión de nuevos conocimientos requiere conocimientos previos, los de estos autores no son libros fáciles para alguien con escasos conocimientos de física.

La segunda, representada por libros como *Física para futuros presidentes* (Muller, 2009), aborda temas como el terrorismo (el 11 de septiembre, el terrorismo nuclear y el biológico), la energía (la energía solar, el final del petróleo), las nucleares (la desintegración radiactiva, las armas nucleares, la energía nuclear, los residuos nucleares, la fusión controlada), el espacio, los satélites y el espionaje o el efecto invernadero y el calentamiento global, etc. Aunque se trata de un libro muy estadounidense, no sólo por el título sino por su preocupación por el terrorismo, lo cierto es que ofrece otra forma de actualización, mostrando la ciencia que hay detrás de los titulares.

En cuanto a temas tratados hay que tener en cuenta que la física es la ciencia natural más antigua, después de la astronomía, y consecuentemente sus conceptos, experimentos, leyes y teorías son tantos que los árboles no nos dejan ver el bosque. Y a este respecto tenemos que señalar que la ley de la palanca de Arquímedes es física pregalileana a nivel cronológico, física clásica a nivel conceptual, dado que dicha ley es la condición de equilibrio de los momentos de fuerza, y física contemporánea a nivel tecnológico, como se pone de manifiesto cada vez que usamos tijeras, alicates, cascanueces o pinzas. Y por eso la física no es más contemporánea porque introduzca, por ejemplo, conceptos como espacios de Minkowski, diagramas de Feynman u otros aspectos de física avanzada. O, para ser más drásticos, cualquier intento de contemporaneidad por esta vía está condenado al fracaso porque ignora que la ciencia crece exponencialmente

(Price, 1973), función que debería ser más comprendida, ya que la población o el consumo de energía y otros recursos también crecen de esta forma.

■ Física para la ciudadanía

Por tanto, la contemporaneidad de la física pasaría más por que ésta favorezca que los ciudadanos del mundo comprendan, por ejemplo, qué es el pico del petróleo y si existen alternativas viables a él, si conviene promover la energía nuclear o si estamos ante un cambio climático, y puedan así ser críticos con los argumentos de los expertos y los políticos que supuestamente nos informan en los medios. Pero una comprensión verdadera exige un conocimiento sin tecnicismos de los conceptos y leyes de la física que ayudan a resolver estos problemas. En resumen, una física contemporánea debe ser una física para todos los ciudadanos del siglo XXI y no sólo para sus presidentes.

Pero éste es un objetivo más fácil de enunciar que de conseguir. Lo primero que hay que tener claro es la gran amplitud de la física y que no se pueden tratar todos los temas; es necesario seleccionar y, por eso, si introducimos un tema nuevo en el currículo seguramente tendremos que eliminar algún tema anterior.

Lo segundo, que hay que tratar de enseñar la física sin tecnicismos, de la forma más cualitativa posible. Se puede enseñar mucha y buena física sin apenas ecuaciones y un excelente ejemplo de ello es la conocida *Física conceptual de Hewitt* (2004), aunque no es muy pródiga en otros contenidos, como los experimentales o las relaciones CTS. Un criterio de mínimos para este país sería no adelantarse al nivel de conocimientos matemáticos que tienen los estudiantes; por ejemplo, no enseñar las ecuaciones de movimiento en 1.º de bachillerato con derivadas o a determinar la

Una física contemporánea debe ser una física para todos los ciudadanos del siglo XXI

energía potencial gravitatoria o eléctrica en 2.º con integrales, cuando los alumnos sólo conocen las derivadas y las integrales al finalizar 1.º y 2.º, respectivamente.

En tercer lugar, para decidir qué contenidos enseñar, hay varias propuestas usuales. Una, la enseñanza centrada en contenidos conceptuales de física clásica, actualizada o no con temas más recientes, que mucho nos tememos reaparecerá en el nuevo decreto, que plantea un retorno a lo básico. Otra, que cuestiona la anterior por su visión academicista y que no responde a la realidad actual de la ciencia, más centrada en problemas sociocientíficos, propone un currículo centrado en cuestiones CTS. La propuesta que aquí se presenta, bastante contrastada por nuestra experiencia y materiales (Calatayud y otros, 1995-1999), consiste en estructurar las asignaturas según los bloques de contenido del currículo oficial e integrar en éstos las actividades CTS y procedimentales, tal y como prescriben aún dichos currículos.

■ Contenidos conceptuales

Los contenidos conceptuales que se pueden introducir son:

- El principio de conservación de la energía, incluyendo el calor (primer principio) y la degradación de ella (segundo principio), lo que permite abordar las máquinas térmicas, la relación entre entropía y vida, la flecha del tiempo, etc.
- Movimientos y fuerzas y la ley de conservación de la cantidad de movimiento, delibe-

radamente puesto detrás del anterior, ya que este tema no debería impartirse antes del de la energía.

- Electromagnetismo, más centrado en la generación, transporte y consumo de electricidad, uno de los vectores energéticos del futuro, que en los irreales problemas de cargas estáticas.
- Ondas, como el sonido, la producción y recepción de ondas electromagnéticas, y las múltiples aplicaciones de la óptica.
- Relatividad especial, con la dilatación del tiempo, la contracción de la longitud y la equivalencia de masa y energía, sin la que no se puede comprender la energía nuclear e ideas de relatividad general, por su papel en la astrofísica y cosmología.
- Cuántica, la cuantificación, dualidad e interpretación probabilista, y cómo los niveles de energía y las distribuciones de probabilidad electrónica permiten comprender los distintos niveles de organización de la materia: partículas, núcleos, átomos, moléculas y agregados.
- Física nuclear, tratando la radioactividad y sus múltiples aplicaciones, dosis y efectos y la fisión y fusión y sus, hasta ahora, preocupantes aplicaciones.

Otro problema es la *secuenciación*. Usualmente prevalece un criterio cronológico

Usualmente prevalece un criterio cronológico para introducir los contenidos y, por eso, se empieza por la cinemática y la dinámica, olvidando que la óptica geométrica y las leyes de la palanca y flotación de Arquímedes son anteriores, y se acaba con la física moderna

para introducir los contenidos y, por eso, se empieza por la cinemática y la dinámica, olvidando que la óptica geométrica y las leyes de la palanca y flotación de Arquímedes son anteriores, y se acaba con la física moderna. Pero esto no parece adaptarse al nivel de conocimientos de los estudiantes, que, paradójicamente, podrían asomarse a conceptos de física nuclear (con un núcleo formado por neutrones y protones) en 3.º de ESO, lo que les permitiría abordar temas de tanta relevancia social como las reacciones de fisión, la energía nuclear o las bombas atómicas. Y, en cambio, una cinemática con derivadas sólo sería accesible en 2.º de bachillerato, cuando los alumnos dominan esta técnica. Esto no se dice para abogar aquí por una cinemática formalizada, porque Galileo explicó el MRUA y la composición de movimientos sin derivadas, que idearon Newton y Leibniz, y sin vectores, que introdujo Gibbs, sino para cuestionar la secuenciación cronológica habitual, que es fruto de la tradición. Por eso, si en el nuevo decreto se impartiese una física obligatoria y separada de la química, con 3 o 4 horas en 1.º de bachillerato y 4 horas en 2.º, sería posible cambiar la secuenciación e introducir temas más cualitativos en 1.º, como por ejemplo la energía, la óptica, la electricidad y el magnetismo, y elementos de física cuántica, necesarios para la química. Para 2.º podrían quedar temas más cuantitativos como la cinemática, la dinámica, la interacción gravitatoria y electromagnética, las vibraciones y ondas, e ideas de relatividad y física nuclear.

■ Contenidos procedimentales

En cuanto a los contenidos procedimentales de esa física contemporánea, en nuestro país parece que no se puede enseñar física sin fórmulas..., y sin embargo se enseña sin apenas experimentación. Pero hay que tener claro que los procedi-

Parece que no se puede enseñar física sin fórmulas..., y sin embargo se enseña sin apenas experimentación

mientos del trabajo científico son un «saber hacer» que sólo se aprende haciendo. Los trabajos prácticos deben plantearse como investigaciones que permitan aproximar a los futuros ciudadanos al trabajo científico. Cuando se disponga de ellos, es conveniente utilizar en estas investigaciones los sensores del laboratorio asistido por ordenador, que contribuyen a hacer más contemporánea la física. En esta misma línea, los experimentos que no sean posibles se pueden sustituir por applets o simulaciones, si bien los primeros son preferibles, porque nos muestran los obstáculos que plantea la realidad, los cuales desaparecen en los applets (Solbes y Tarín, 2007). Pero, dado el coste de algunos trabajos prácticos, en particular los de física moderna, se hace necesaria en estos casos la utilización de simulaciones. Algunas del profesor Franco (2010) contienen importantes ingredientes de la investigación científica, como el control de variables y la realización de gráficas.

También es cierto que muchos experimentos, por su complejidad (realización de hipótesis, comprobación de éstas mediante experimentos, análisis de resultados, etc.), plantean dificultades en el alumnado de primaria o, incluso, en el del primer ciclo de la ESO. En este caso (pero también en la educación infantil o en la universidad) se pueden utilizar pequeñas experiencias y juegos científicos, la denominada ciencia recreativa, que aparecía en muchos textos de fines del siglo XIX y principios del XX, y que ha vuelto a resurgir por los problemas de falta de interés de los estudiantes. Lo que sí ha cambiado es la forma de presentar esas experiencias. Antes aparecían como meras observaciones o como ilus-

traciones o ejemplificaciones de la teoría previamente explicada. Ahora se pueden plantear como indagaciones, como preguntas por resolver o que planteen cómo mostrar o conseguir una cosa. Se favorece así que el alumnado hable de ciencia y, en particular, que argumente científicamente, sustentando sus enunciados en pruebas (Jiménez-Aleixandre y otros, 2009; Lozano y otros, 2012).

■ Contenidos actitudinales

Por último, en lo que respecta a los contenidos actitudinales, se puede acercar la física a los ciudadanos, asomándose a su historia y presentando sus múltiples interacciones con la tecnología, con la sociedad y el ambiente (CTSA). Así, la dimensión humana de la física se evidencia mostrando las contribuciones de muchos hombres y mujeres a su desarrollo, lo que pone de manifiesto el carácter colectivo de la ciencia. Pero no hay que mostrar sólo sus aportaciones científicas relevantes, como es usual, sino también algún dato de su vida personal y social, para hacerlos más próximos.

En cuanto a las aplicaciones técnicas de la física, son tantas y tan diversas y, por otra parte, nos hemos acostumbrado tanto a ellas, que muchas veces se ignora su origen. Particularmente contemporáneas son sus aplicaciones en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), de las que tanto se habla, pero estos discursos ignoran los desarrollos de las ciencias físicas que hacen posible su existencia y funcionamiento, como la microelectrónica o las telecomunicaciones.

También hay que enseñar a la ciudadanía la contribución de la física a la solución de las necesidades humanas contemporáneas, en concreto en las fuentes de energía y su consumo, en la comunicación, en los nuevos materiales y tecno-

Sería hacerle un flaco favor al desarrollo del pensamiento crítico ocultar el papel de la ciencia en los problemas de nuestro tiempo: los científicos contribuyen al estudio de dichos problemas, a su denuncia ante la sociedad y a proponer soluciones

logías, en la biología molecular (la difracción de rayos X) y en la medicina (rayos X, TAC, RMN, TEP, fuentes e isótopos radiactivos, sin los cuales no hubiese sido posible el tratamiento y diagnóstico de muchas enfermedades). Sería hacerle un flaco favor al desarrollo del pensamiento crítico ocultar el papel de la ciencia en los problemas de nuestro tiempo: los armamentos, la contaminación ambiental, el agotamiento de recursos, etc. Y, aunque algunos atribuyen la responsabilidad de estos problemas a los científicos, lo cierto es que ésta no es mayor que la de las empresas y gobiernos que los financian, imponiéndoles objetivos. Por otra parte, los científicos contribuyen al estudio de dichos problemas, a su denuncia ante la sociedad y a proponer soluciones, con energías y tecnologías alternativas o medidas de ahorro de energía y recursos materiales.

Por último, hay que señalar que la contemporaneidad de la física pasa por aprovechar los múltiples recursos de la enseñanza informal de la ciencia (Pro, 2007), como la prensa, la televisión, los museos de ciencias, el cine, etc. Esto permite responder a las preguntas de los alumnos sobre el bosón de Higgs o si los neutrinos viajan más rápidos que la luz, o introducirlas si no las hacen. Un recurso particularmente interesante para los estudiantes es la ciencia ficción, especialmente el cine de este género (Petit y Solbes, 2012). Se pueden usar en el aula fragmentos de películas que den una imagen deformada de la ciencia y los científicos o que cometan errores científicos

graves (ruidos de explosiones en el vacío o tripulantes en una nave espacial que se mueven con gravedad terrestre) y hacer que los estudiantes sean conscientes de ellos y puedan criticarlos. O, por el contrario, mostrar fragmentos que den una imagen más real de la ciencia y los científicos, mostrando a mujeres científicas (Contact) o que muestren la ingravidez o la simulen con la rotación de la estación espacial (2001, una odisea en el espacio).

■ Conclusiones

Hemos visto cómo, ante el abandono de los estudios de física en secundaria y de los de física e ingenierías en la universidad, algunos proponen como solución actualizar contenidos con temas de física contemporánea. Sin negar esta posibilidad, pero cuestionando qué se entiende por contemporaneidad de la física, vemos cómo las investigaciones en didáctica de la ciencia proponen otra forma de actualización que denominaremos física para la ciudadanía.

Hemos sugerido aquí contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales de esta clase de física, que pensamos que pueden generar actitudes de valoración de las contribuciones de los desarrollos científicos y tecnológicos a la vida cotidiana. Al mostrar las implicaciones sociales y ambientales de la física (no sólo las positivas), se puede favorecer la participación ciudadana, la responsabilidad social y la toma fundamentada de decisiones. Y se muestra, asimismo, el papel cultural de la física, su contribución a la racionalidad, al pensamiento crítico, que ha destruido mitos y cambiado la visión del mundo o ha cuestionado los pseudocientificismos que nos invaden (astrología, ufología, etc.), y a la ética, con ejemplos de responsabilidad social de físicos que critican el uso bélico de la ciencia o denuncian los problemas de nuestro tiempo.

Referencias bibliográficas

- AAVV (2006): «Fronteras de la física». *Investigación y Ciencia*, núm. 43.
- ALEMANY, R. (2011): *Física para Andrea*. Pamplona. Laetoli.
- CALATAYUD, M.L. y otros (1995-1999): *Proyecto Galaxia: Física y Química. 3º y 4º de ESO. 1º y 2º de Bachillerato*. Barcelona. Octaedro.
- FRANCO, A. (2010). *Física con ordenador* [en línea]. <www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>.
- GREENE, B. (2006): *El universo elegante*. Barcelona. Crítica.
- MULLER R.A. (2009): *Física para futuros presidentes*. Barcelona. Antoni Bosch.
- HEWITT, P. (2004): *Física conceptual*. México. Pearson Education.
- HOLBROW, C.H. y otros (1995): «Modernizing introductory physics». *American Journal of Physics*, vol. 63(12), pp. 1078-1090.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.A. y otros (2009): *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela. Danú. También disponible en línea en: <<http://rodascu.eu/central/090522/>>.
- LOZANO, O.; SOLBES, J.; GARCÍA, R. (2012): «Contribución de la ciencia recreativa al desarrollo de competencias argumentativa y actitudinales». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 71, pp. 70-80.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. (2000): «Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando la formación de profesores». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 18(3), pp. 391-405.
- PETIT, M.F.; SOLBES, J. (2012): «La ciencia ficción y la enseñanza de las ciencias». *Enseñanza de las ciencias*, vol. 30(2), pp. 69-86.
- PRICE, D.J.S. (1973): *Hacia una ciencia de la ciencia*, Barcelona. Ariel.
- PRO, A. (2005): «Presentación de la monografía la enseñanza no formal de la ciencia».

Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, núm. 43, pp. 5-8.

- ROCARD, M. y otros (2007): *Science education Now: A renewed Pedagogy for the future of Europe. European Communities: Belgium*. (Trad. cast.: «Enseñanza de las ciencias ahora: Una nueva pedagogía para el futuro de Europa». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 55, pp. 104-117.)
- SMOLIN, L. (2007): *Las dudas de la física en el siglo XXI*. Barcelona. Crítica.
- SOLBES, J. (2011): «¿Por qué disminuye el alumnado de ciencias?». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 67, pp. 53-62.
- SOLBES, J.; MONTSERRAT, R.; FURIÓ, C. (2007): «El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza». *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, núm. 21, pp. 91-117. También disponible en línea en: <<http://roderic.uv.es/handle/10550/20927>>.
- SOLBES, J.; TARÍN, J. (2007): «¿Qué hacemos si no coincide la teoría y el experimento? (o los obstáculos de la realidad)». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 52, pp. 97-107.
- TIPLER, P.A. (2003): *Física moderna*. Barcelona. Reverté.
- VÁZQUEZ, A.; MANASSERO, M.A. (2007): *Los intereses curriculares en ciencia y tecnología de los estudiantes de secundaria*. Palma. Universitat de les Illes Balears.

Dirección de contacto

Jordi Solbes

Universidad de Valencia

jordi.solbes@uv.es

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en diciembre de 2012 y aceptado en marzo de 2013 para su publicación.