

Digna Couso
M.ª Isabel Hernández
Roser Pintó
Centre de Recerca
per a l'Educació Científica
i Matemàtica (CRECIM),
Universitat Autònoma
de Barcelona

Las propiedades acústicas de los materiales. Una propuesta didáctica de modelización e indagación sobre ciencia de materiales

En este artículo presentamos una secuencia didáctica sobre propiedades acústicas de los materiales que es parte del proyecto internacional de diseño curricular basado en investigación Materials Science. La base teórica común para el diseño curricular en los cinco países participantes es el enfoque en la enseñanza y aprendizaje por indagación, la modelización y el uso de TIC para apoyar ambos procesos. En nuestro proyecto, hemos establecido un grupo de trabajo colaborativo entre docentes de secundaria e investigadores en didáctica de las ciencias. Este grupo ha realizado una transposición didáctica con respecto a la atenuación del sonido mediante materiales, una secuencia didáctica apropiada para alumnos de los últimos cursos de ESO y un conjunto de materiales de enseñanza/aprendizaje y evaluación. El diseño de estos materiales se ha realizado siguiendo un proceso de desarrollo iterativo, siendo la unidad didáctica «Propiedades Acústicas de los Materiales» que se presenta aquí el resultado de un primer ciclo de diseño-implementación-evaluación-rediseño.

Palabras clave: Atenuación del sonido, acústica, ciencia de materiales, indagación, modelización, TIC, iteración, trabajo colaborativo.

The acoustic properties of materials: a teaching proposal for modelling and finding out about Materials Science

This article presents a teaching sequence on the acoustic properties of materials, part of an international research-based curricular project on Materials Science. The common theoretical basis for curriculum design in the five participating countries was focused on an enquiry-based, modelling approach and the use of ICTs to support it. In our project, a partnership of secondary-school teachers and researchers was set up to carry out a didactic transposition of sound attenuation through materials and has also prepared a conceptual sequence for secondary-school students and teaching/learning worksheets and assessment tasks. The design of these materials followed an iterative approach to curricular development. The teaching unit Acoustic Properties of Materials presented here is the result of a first complete iterative cycle of design-implementation-assessment-redesign.

Keywords: sound attenuation, acoustics, materials science, enquiry, modelling, ICTs, iteration, partnership.

Introducción al proyecto de investigación y diseño curricular Materials Science

El proyecto *Materials Science*¹ es un proyecto internacional en el que se desarrollan materiales curriculares basados en resultados de investigación educativa en el ámbito de la ciencia de los materiales. El objetivo principal de este proyecto es aumentar la motivación intrínseca de los estudiantes de secundaria hacia los estudios de ciencias y tecnología, mediante la introducción en la clase de ciencias de nuevos contenidos (Ciencia de los Materiales) y el uso de metodologías pedagógicas de

mayor eficiencia (principalmente, el uso combinado de la modelización, la indagación y las nuevas tecnologías en el aula).

Partimos del punto de vista según el cual un aprendizaje de ciencias es más significativo si planteamos situaciones problemáticas y contextualizadas que los alumnos puedan resolver utilizando no sólo conocimientos de ciencias sino también su competencia de indagación. A la par, consideraremos que se ha hecho significativo si los alumnos han podido organizar y estructurar los nuevos conceptos incluyéndolos en algún modelo científico general. También se persigue que la clase de ciencias sea más auténtica, acercando el proceso de generación y utilización del conocimiento en el aula (aprendizaje por indagación y modelización) a la forma de generar y utilizar el conocimiento científico en el laboratorio (modelización e indagación científica), trabajando así tanto contenidos de ciencia como sobre naturaleza de la ciencia.

Por otro lado, introducir la ciencia de los materiales en el currículo implica tratar en el aula las relaciones entre propiedades, estructura, procesamiento y comportamiento de los materiales. En este sentido, este nuevo contenido demanda un enfoque interdisciplinar (de física y química entre otras disciplinas, debido a que las propiedades físicas de los materiales dependen de su estructura química), altamente aplicado (se persigue comprender el comportamiento de los materiales con el objetivo de utilizarlos a la carta y de diseñar nuevos materiales en función de las posibles aplicaciones) y con clara relevancia tecnológica (importancia del procesamiento, coste, instrumentación...), aspectos no tan evidentes para los contenidos científicos tradicionales, más disciplinares y académicos.

Además de la temática y el enfoque pedagógico, los materiales elaborados por los cinco países participantes en el proyecto *Materials Science* tienen también en común el proceso seguido para el desarrollo de materiales de enseñanza/aprendizaje. Éste se realiza en equipos colaborativos entre profesores de secundaria e investigadores en didáctica de las ciencias de forma iterativa, es decir, siguiendo ciclos consecutivos de diseño-implementación-evaluación-rediseño.² El objetivo es ofrecer materiales de gran valor didáctico, no sólo porque su diseño inicial se realiza utilizando resultados de investigación educativa, sino porque se prueban y evalúan de forma sistemática en el aula y porque además son utilizados como instrumentos para llevar a cabo investigaciones sobre didáctica de las ciencias en el contexto en el que se implementan.

El material curricular que ha desarrollado el equipo de Barcelona³ en el proyecto *Materials Science* consta de una unidad didáctica (UD) sobre la atenuación del sonido en materiales para alumnos de 14-16 años de edad, denominada «Propietats Acústiques dels Materials»⁴ (Burrull y otros, 2008). También se ha elaborado una justificación teórica de la uni-

Modelización, indagación y uso de TIC para trabajar en el aula los materiales aislantes y absorbentes acústicos

dad, en la que se detallan los objetivos de aprendizaje y se incluye una guía para el profesorado. La UD que presentamos aquí es producto del primer ciclo de iteración, es decir, es el resultado de un diseño preliminar en colaboración universidad-escuela, implementado por parte de todo el profesorado implicado en el diseño y modificado posteriormente. Las modificaciones se han realizado a partir de las percepciones del profesorado (autoevaluación); observaciones externas durante la implementación tanto por parte de los investigadores participantes en el diseño como por otros investigadores vinculados al proyecto *Materials Science* y, sobre todo, teniendo en cuenta los resultados de los estudiantes en actividades concretas de la UD y en la evaluación final, común para todos.

El estudio del sonido es un contenido clásico en la mayoría de los currículos de secundaria. En los currículos con un enfoque CTS es también común abordar la relación entre sonido y música, así como contextualizar este contenido en la problemática medioambiental de la contaminación acústica, relacionándola con los efectos nocivos para la salud y, en algunos casos, orientándose al estudio de la fisiología del oído. Sin embargo, y a pesar de que los problemas de contaminación acústica tienen parte de su solución en el uso de materiales atenuadores del sonido, estos materiales no suelen ser objeto de estudio. Introducir la ciencia de materiales en el aula, sin embargo, implica no sólo conocer que existen estos materiales, clasificarlos como aislantes o absorbentes acústicos o relacionarlos con soluciones de acondicionamiento o insonorización acústica. En la ciencia de los materiales es necesario, además, identificar las propiedades y estructura interna de los materiales y, sobre todo, comprender la relación entre ambas, lo que constituye el interés principal de este campo del conocimiento.

El hecho de que un cierto material se comporte como reflector o como absorbente acústico es una cuestión compleja desde el punto de vista científico y sobre la que no es fácil idear una transposición didáctica adecuada. Introducir estos contenidos en el currículo, por lo tanto, requiere de una reelaboración conceptual previa. Así, a partir de los conocimientos con los que la ingeniería acústica, la ciencia de los materiales y la física trabajan en torno a la atenuación del sonido, hemos realizado un proceso de «reconstrucción educativa» (Duit, Gropengießer y Kattmann, 2005). En este proceso de reelaboración de los contenidos para ser enseñados en el aula no sólo se tienen en cuenta los contenidos propiamente científicos, sino también aspectos didácticos, como las dificultades de los alumnos con el aprendizaje de estos conocimientos. En este sentido hemos utilizado también resultados obtenidos en investi-

gaciones anteriores sobre cómo conciben los materiales atenuadores del sonido los alumnos sin instrucción previa al respecto (Hernández, 2008). Ello nos ha orientado en la formulación de modelos conceptuales de materiales atenuadores del sonido adecuados para los estudiantes de secundaria.

Modelizando la atenuación del sonido

En didáctica de las ciencias, el valor de los modelos y del proceso de modelización en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias ha sido largamente discutido (Halloun y Hestenes, 1987). Existe en este sentido un amplio consenso respecto a que modelizar es una componente fundamental de la cognición humana y del quehacer científico. En consecuencia, se considera de gran importancia que los estudiantes en el aula de ciencias construyan modelos conceptuales y los usen para explorar, predecir y explicar fenómenos (Glynn y Duit, 1995).

Los modelos a construir por los alumnos, para que se aproximen a los modelos científicos y para que su construcción sea paralela a los procesos de modelización científica, deben tener sus mismas características:

- Representar ciertos aspectos del fenómeno, que pueden refinarse.
- Proporcionar un mecanismo de interpretación de los aspectos fundamentales del fenómeno.
- Ser útiles para formular predicciones que puedan experimentarse (Constantinou, 2007).

Para que los estudiantes sean capaces de modelizar a lo largo de la unidad didáctica el fenómeno de la atenuación del sonido en materiales, consideramos que son útiles tres modelos conceptuales que proporcionan diferentes niveles de interpretación:

- *Un modelo en términos energéticos*, con el que modelizar cómo la energía asociada a una onda sonora se distribuye cuando el sonido llega a un material, según éste se comporte acústicamente como reflector o absorbente.
- *Un modelo de las propiedades de los materiales*, con el que modelizar cómo el sonido se atenúa por reflexión o por absorción cuando llega a un material, en función de las propiedades físicas macroscópicas de densidad, rigidez⁵ y porosidad.
- *Un modelo de la estructura interna de los materiales* con el que modelizar cómo las propiedades del material mencionadas influyen en su capacidad de atenuar el sonido. Correspondería a la visión microscópica de la densidad, la rigidez o la porosidad del material.

Usando estos modelos en términos energéticos y de nivel macro y microscópico, los alumnos pueden predecir, explicar y justificar cómo se comporta acústicamente un determinado material.

A lo largo de la unidad didáctica se introducen estos tres modelos de forma secuenciada, desde la descripción de la atenuación del sonido en términos energéticos hasta la explicación y justificación de este fenómeno usando las propiedades macroscópicas de densidad, rigidez y porosidad y su significado microscópico. Algunas representaciones de estos modelos y extractos de actividades de aula para trabajarlos se muestran en el cuadro 1.

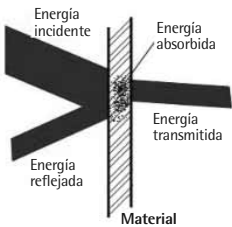
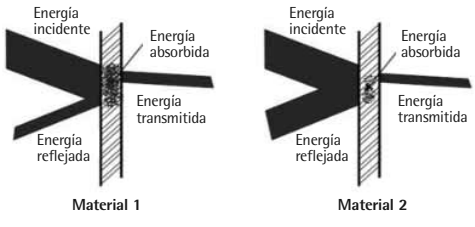
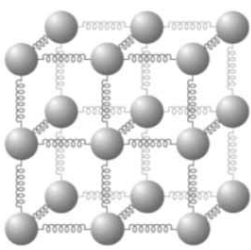
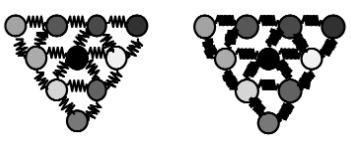
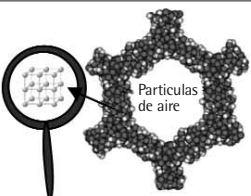
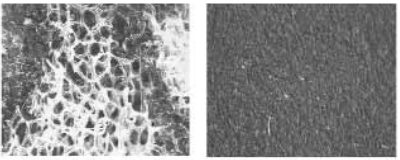
El objetivo final es que el alumno sea capaz de utilizar cualquiera de estos modelos y los interrelacione tanto para predecir resultados de experimentos de atenuación del sonido con diferentes materiales como para justificar su elección de unos materiales u otros según el comportamiento acústico requerido.

Indagando la atenuación del sonido

El enfoque de aprendizaje por indagación ha sido propuesto como una metodología adecuada para un aprendizaje motivador, significativo y pedagógicamente rico (NRC, 2000), puesto que se considera que promueve la curiosidad de los estudiantes y también que puede ser su resultante. Consideramos importante que los estudiantes sean capaces de indagar en el aula de ciencias, es decir, de hacerse preguntas investigables, obtener evidencias experimentales y elaborar conclusiones adecuadas. Por ello, al igual que el proceso de modelización lleva a los alumnos a construir modelos que les permitan predecir e interpretar los fenómenos de su entorno, consideramos que la indagación conlleva una capacitación para la generación de conocimiento científico gracias al fomento de la curiosidad, del interrogarse por el mundo exterior, de proponer explicaciones o pruebas para encontrar respuestas satisfactorias.

Indagar en el aula de ciencias se ha relacionado con frecuencia con el uso de actividades prácticas y manipulativas, vinculadas únicamente con el trabajo experimental o de laboratorio (los denominados *inquiry skills*). En este sentido, se consideran habilidades investigativas la lectura de gráficos, medir adecuadamente, usar instrumentación de forma correcta, etc. Sin embargo, la indagación científica va mucho más allá del mero trabajo procedimental manual, involucrando otros aspectos de la competencia científica, como el uso de modelos adecuados a la hora de hacer preguntas investigables, identificar factores que

Cuadro 1. Representaciones y actividades de los diferentes modelos trabajados en la UD

Representaciones gráficas de los modelos trabajados en UD	Extractos de actividades de la UD «Propiedades Acústicas de los Materiales» para trabajar los modelos
 Material	 Material 1 Material 2
Modelo de material atenuador del sonido en términos energéticos  Modelo «bolas y muelles» de sólido El modelo representa la estructura microscópica de los materiales sólidos. Las partículas se representan como bolas macizas con una cierta masa y los enlaces entre ellas como muelles con cierta rigidez. Para entender cómo influye la densidad o rigidez del material en la reflexión del sonido incidente utilizamos una analogía: los choques en una mesa de billar.	¿Cuál de los dos diagramas representa un material reflector acústico y cuál un absorbente acústico? Justifica tu respuesta ¿Cómo son por dentro los materiales reflectores? Imagina que la bola blanca del billar representa una partícula de aire que vibra propagando la onda sonora. Esta partícula de aire choca con las partículas de un objeto material sólido, representadas aquí por las bolas de colores juntas, y les transfiere parte de la energía de la onda sonora. <i>Materiales muy o poco densos</i> - Si una bola blanca choca con la misma fuerza contra un conjunto de bolas de hierro (que representan un material denso) o contra un conjunto de bolas de madera (que representan un material menos denso), ¿en cuál de los dos casos la bola blanca rebotará más? <i>Materiales muy o poco rígidos</i> - Si una bola blanca choca con la misma fuerza contra un conjunto de bolas unidas por muelles muy rígidos (que representa un material rígido) o contra un conjunto de bolas iguales pero unidas por muelles poco rígidos (que representa un material menos rígido), ¿en cuál de los dos casos la bola blanca rebotará más?  - Explica ahora cómo te imaginas que la densidad y la rigidez del material intervienen en el hecho de que el material refleje más o menos el sonido, utilizando el modelo de partículas de la materia.
 Modelo de material poroso En el modelo el material poroso tiene una estructura sólida (esqueleto o fibras), generalmente densa y rígida, con agujeros o espacios con partículas de aire, denominados poros.	¿Cómo son por dentro los materiales absorbentes? A continuación puedes observar dos imágenes de dos materiales diferentes capturadas con lupa binocular digital. Un material es muy poroso mientras que el otro tiene una superficie uniforme sin poros.  Explica ahora cómo te imaginas que la porosidad del material interviene en el hecho de que el material absorba más o menos el sonido, utilizando el modelo de partículas de la materia.

pueden influir en un fenómeno, predecir resultados, interpretar datos o extraer conclusiones de los mismos, etc. Es decir, se trata de un proceso más mental que manual. La esencia de indagar radica, por lo tanto, en cuestionar, pensar, planear, reflexionar, interactuar, inferir, discutir, argumentar, etc., actividades en las que nos involucramos cuando investigamos. Como se afirma en la guía sobre indagación y estándares nacionales para la enseñanza de ciencias formulados en Estados Unidos (NRC, 2000):

La gente necesita evaluar y tomar decisiones que requieren un cuestionamiento cuidadoso, la búsqueda de evidencia y el razonamiento crítico. Los ambientes de aprendizaje que se concentran en transmitir a los estudiantes lo que los científicos ya conocen no promueven la indagación; por el contrario, el énfasis en la indagación exige pensar sobre lo que sabemos, por qué lo sabemos y cómo llegamos a saberlo.

En el aula de ciencias, al igual que en el ámbito científico, la indagación se inicia y estimula mediante buenas preguntas o situaciones problemáticas que resolver. En el caso de la unidad didáctica que presentamos, contextualizamos el estudio de las propiedades acústicas de los materiales en torno a un problema concreto y relevante para los alumnos: la insonorización y el acondicionamiento acústico de un bar musical. Analizando los usos de los distintos espacios que requiere un bar musical, los alumnos estudian cómo aumentar la reflexión del sonido en la zona de baile, aumentar la absorción del sonido en las áreas tranquilas y atenuar el sonido que llega al exterior. La de qué tipos de materiales (con qué propiedades) pueden utilizarse para este tratamiento acústico es la pregunta central que dirige la indagación de los estudiantes a lo largo de la UD.

Para ayudar a los alumnos en este proceso de indagación, se secuencian las actividades de la UD comenzando por una indagación «cerrada» o altamente guiada y avanzando hacia la indagación abierta, en la que los estudiantes planifican, diseñan y realizan el desarrollo experimental de forma autónoma.

En este sentido, primero los estudiantes se familiarizan con el problema, los modelos a utilizar, el diseño experimental con el que caracterizar los materiales y los instrumentos de laboratorio que han de usar, como el sonómetro, mediante actividades guiadas. Una vez los estudiantes dominan estos contenidos, se les propone una indagación abierta en la que deben decidir, a partir de las evidencias que obtienen por la vía experimental, cuáles son los mejores materiales para resolver el problema propuesto inicialmente: cómo acondicionar los diferentes espacios del bar musical.

Uso de nuevas tecnologías para identificar experimentalmente los materiales reflectores y absorbentes acústicos

Para medir la capacidad de atenuación de diferentes materiales, en esta UD se ha utilizado un sistema de captación de datos en tiempo real. Los beneficios generales de esta herramienta han sido largamente reseñados (Pintó, 2002). En la unidad didáctica que presentamos, se ha utilizado esta tecnología para beneficiarnos de su rapidez y precisión en la toma de datos, en concreto para registrar y graficar la intensidad de sonido medida con un sonómetro. A pesar de que el sonómetro puede utilizarse de forma autónoma, la alta inestabilidad e inercia de este sensor hace muy útil su uso conectado al ordenador, de forma que los alumnos puedan percibir fácilmente el rango de valores entre los que varía la intensidad del sonido medido.

Para analizar el comportamiento acústico de los materiales se ha utilizado el dispositivo experimental de la figura 1. Aquí, una fuente de sonido de intensidad fija conocida (en este caso un zumbador) se cubre con cajas forradas de diferentes materiales.

Previamente se toman medidas del nivel de intensidad del sonido emitido por la fuente sonora que incide en el sonómetro a una cierta distancia. Este valor es tomado como referencia para saber si un cierto material atenúa mucho o poco el sonido, cuando la fuente sonora se

Figura 1. Un zumbador (intensidad de sonido conocida) se cubre con una caja forrada con el material que se quiera estudiar. Con el sonómetro conectado a la consola MBL y a través de ésta al ordenador, se mide y se representa mediante gráficas en la pantalla la intensidad del sonido dentro de la caja



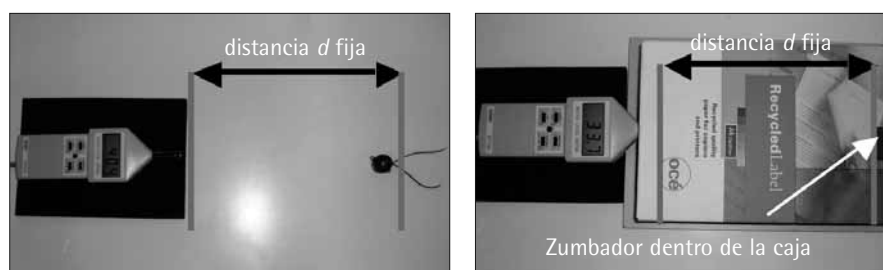
ubre con una de las cajas, o para discernir entre materiales reflectores y absorbentes acústicos.

Para los materiales reflectores del sonido, se observa que el nivel de intensidad sonora medido dentro de la caja es mayor que el de referencia, debido a la reflexión del sonido que se produce en el material. Por el contrario, en los materiales absorbentes del sonido el nivel de intensidad medido en el interior disminuye respecto al de referencia, ya que el sonido es absorbido en el material. Si se compara el nivel de intensidad sonora de referencia con el nivel de intensidad medido fuera de la caja, tanto para reflectores como para absorbentes, se comprueba que éste disminuye, puesto que en ambos casos se ha atenuado el sonido que llega al exterior.

Para poder comparar los valores obtenidos experimentalmente, las medidas se realizan siempre a la misma distancia entre fuente y sonómetro, siguiendo el procedimiento de la figura 2.

Los materiales que se proponen analizar en la UD son diversos: materiales que se usan para el acondicionamiento acústico profesional (como la lana de vidrio o de roca) y no profesional (como el corcho o el fieltro) así como otros materiales muy conocidos por los alumnos que tienen comportamientos acústicos interesantes, como el papel de aluminio, el porexpan, la goma, la espuma o el conglomerado recubierto de fórmica. Puesto que queremos centrarnos en el estudio de las propiedades del material, en este experimento no se trabajan otras variables importantes para el acondicionamiento acústico, como la influencia de la geometría en la atenuación (por ejemplo, el habitual recubrimiento con hueveras de cartón) o las soluciones constructivas habituales (combinación de reflector-absorbente-reflector).

Figura 2. Medida de la intensidad del sonido de referencia (izquierda) y para cada uno de los materiales analizados acústicamente (derecha). Para obtener datos comparables, la distancia entre la fuente de sonido (zumbador) y el instrumento de medida (sonómetro) debe permanecer fija



Para relacionar la caracterización de los materiales analizados como reflectores u absorbentes acústicos con las propiedades relevantes en el fenómeno, desde el punto de vista del modelo utilizado (densidad, rigidez y porosidad), necesitamos conocer su valor. En este sentido, las propiedades se miden cuantitativamente (pesando un volumen fijo, en el caso de la densidad) o se observan cualitativamente (comprobando manualmente la resistencia a la deformación para la rigidez y usando una lupa binocular a 40x para la porosidad).

Descripción de las diferentes actividades de la unidad didáctica

La unidad didáctica «Propiedades acústicas de los materiales» (Burrull y otros, 2008) ha sido estructurada en tres bloques principales con diferentes actividades cada uno. En el cuadro 2 se describen las diferentes actividades de cada bloque.

Consideraciones finales

La unidad didáctica presentada (Burrull y otros, 2008), que como se ha mencionado es el producto de un primer ciclo de diseño-implementación-evaluación, será implementada nuevamente durante el curso escolar 2008-09, tanto por profesores participantes en la primera iteración como por nuevos profesores. En este sentido, una versión final y mejorada de esta unidad estará disponible durante el 2009, que esperamos sea de utilidad para el profesorado interesado.

No obstante, coincidimos con Baumgartner y otros (2003) en que la investigación basada en el diseño (*design-based research*) no se limita al diseño y evaluación de materiales de enseñanza-aprendizaje específicos a lo largo de un proceso iterativo de desarrollo, revisión y rediseño con el objetivo de mejorar estos materiales o comprobar su eficacia. Este paradigma de investigación refleja además un compromiso por entender las relaciones entre la teoría sobre el aprendizaje de las ciencias, los materiales diseñados y la práctica de aula. Desde esta perspectiva, nos proponemos identificar las concepciones iniciales de los estudiantes sobre los conceptos estudiados, explorar hasta qué punto los diferentes modelos propuestos son utilizados por los alumnos y qué dificultades tienen para incorporarlos, y analizar el impacto del enfoque indagativo y de modelización en el aprendizaje. Actualmente ya hemos iniciado algunas de estas investigaciones, que se publicarán en diversos formatos. Animamos a los lectores interesados en conocer más sobre el impacto de esta propuesta didáctica a contactar con los autores o visitar las páginas web mencionadas a lo largo del artículo.

Cuadro 2. Resumen de la secuencia de la UD «Propiedades acústicas de los materiales»

BLOQUE A (4-5h)	Unidad 0: Introducción a la acústica Actividades en las que se introduce globalmente el problema de la contaminación acústica, a la vez que se muestra la necesidad de la ciencia de utilizar lenguaje preciso para una comunicación eficaz. Con ello, se repasan conceptos que pueden haberse tratado en sesiones anteriores sobre el sonido y que son necesarios para el resto de la unidad (frecuencia, intensidad de sonido, etc.). Unidad 1: Los problemas acústicos de un bar musical Se plantea un problema de contaminación acústica ocasionado por un bar musical que no está debidamente insonorizado ni acondicionado acústicamente. Este problema guía toda la unidad. Unidad 2: ¿Cómo llega el sonido a todos los rincones del bar musical? Se analiza el fenómeno de la reflexión del sonido y se introduce la idea de reverberación. Unidad 3: ¿Qué le pasa al sonido cuando parece bordear obstáculos? Se analiza el fenómeno de la difracción. Unidad 4: ¿Cómo podemos conseguir que no se escuche la música en el exterior? Se introduce la atenuación del sonido, midiendo experimentalmente cómo el sonido se atenúa con la distancia (familiarizándose así con el dispositivo experimental: fuente de sonido, sonómetro y sistemas de captación de datos). También se introduce la atenuación producida por materiales, tratando el modelo en términos de conservación de la energía.
BLOQUE B (4h)	Unidad 5: ¿Qué características debe tener un material buen reflector acústico? ¿Y un buen absorbente acústico? Se pide a los alumnos que imaginen las propiedades físicas de los materiales reflectores y absorbentes acústicos. Los alumnos deciden qué propiedades son características de estos materiales y las utilizan para clasificar ciertos materiales (papel de aluminio, fieltro, porexpan, madera con fórmica y lana de vidrio) en reflectores o absorbentes acústicos. Posteriormente, los alumnos diseñan un montaje experimental con el que poder determinar si un material atenúa el sonido. Se consensúa una versión final y se realiza el experimento. A continuación, se propone a los alumnos que realicen el diseño experimental con el que poder discernir entre materiales reflectores y absorbentes acústicos. Se realiza el experimento siguiendo el diseño experimental consensuado, en este caso utilizando las cajas de los materiales para los que se hizo una predicción sobre su comportamiento acústico (como reflector o absorbente). De esta manera, los alumnos llegan a identificar experimentalmente las propiedades físicas de los materiales reflectores (densos, rígidos y con poca porosidad) y de los materiales absorbentes (poco densos, poco rígidos y muy porosos). Unidad 6: ¿Cómo explicamos la atenuación del sonido en un material a partir de su estructura interna? Aquí se introduce el modelo microscópico que relaciona las propiedades identificadas anteriormente con la estructura interna de los materiales (ver tabla 1).
BLOQUE C (2h)	Unidad 7: Comparemos materiales. ¿Cuál utilizaríamos para insonorizar? Se propone a los estudiantes una indagación abierta para encontrar el mejor absorbente acústico entre unos materiales dados. A partir de la identificación de las propiedades físicas de estos materiales, los alumnos deciden qué materiales creen que son mejores absorbentes acústicos y lo comprueban experimentalmente de forma autónoma. Unidad 8: ¿Cómo acondicionarías acústicamente el bar musical? Proyecto de trabajo en grupo donde se ponen en práctica los conocimientos aprendidos para proponer soluciones concretas para la insonorización y el acondicionamiento acústico del bar musical (el problema original).



Agradecimientos

Queremos agradecer explícitamente a los profesores participantes en el equipo local del proyecto *Materials Science* (Anna Burrull, Celsa Cortijo, Miquel Padilla, Consol Rius, Marta Simón, Carme Suñer y Montse Tortosa) su inestimable colaboración en el mismo. Asimismo, queremos agradecer a los investigadores Costas Constantinou y Hans Niedderer su interesante contribución como observadores externos durante la implementación del material en las aulas.

Notas

1. *Materials Science* es el acrónimo de «University-school partnerships for the design and implementation of research-based ICT-enhanced modules on Material Properties», proyecto financiado por el 6º Programa Marco de la EU, Dirección General de Investigación, dentro del programa «Science & Society». Ref: S&S-16-042942.

2. En el proyecto *Materials Science* se realizan dos implementaciones del material didáctico diseñado por cada grupo de trabajo en dos cursos consecutivos. Además, por otro lado, estos materiales se intercambian entre países participantes, de forma que se rediseñan, implementan y evalúan también en contextos diferentes al original. Así, el proyecto estudia no sólo el nivel de aprendizaje conseguido por los alumnos a nivel local, sino hasta qué punto es posible la transferencia entre países, siendo éste otro gran objetivo de la investigación. Aunque en este artículo sólo nos referimos al material elaborado localmente, el resto de materiales estarán disponibles online a medida que el proyecto avance. URL <<http://lsg.ucy.ac.cy/MaterialsScience/>>

3. La unidad didáctica fue el producto del trabajo cooperativo de siete profesores, un físico y seis químicos, y de tres investigadores en didáctica de las ciencias.

4. Esta UD ha sido elaborada por los profesores e investigadores participantes en el proyecto, tal y como indica el listado de autores. Queremos hacer especial mención al profesor Miquel Padilla que realizó un extensivo trabajo de edición de la misma.

5. El término *rigidez* se refiere, en ingeniería, a la resistencia de un material a la deformación. Aunque en este ámbito se definen muchos tipos de rigidez (torsión, flexión), aquí nos referimos únicamente a la relación entre una presión transversal sobre un material (como la presión que realiza el sonido) y la deformación que sufre el mismo.

Referencias bibliográficas

- BAUMGARTNER, E. y otros (2003): «Design-Based Research: An emerging paradigm for educational inquiry», en *Educational Researcher*, vol. 32, n. 1, pp. 5-8.
- BURRULL, A. y otros (2008): *Propietats Acústiques dels Materials*. Unidad didáctica disponible en: <<http://antalya.uab.es/crecim/materialscience.html>>
- CONSTANTINOU, C. (2007): *Modeling in Science and Education. Proceedings of the Sixth International ESERA Conference*. Malmö, Suecia.
- DUIT, R.; GROPPENGIEßER, H.; KATTMANN, U. (2005): «Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction», en H.E. FISCHER (ed.): *Developing standards in research on science education*. Londres. Tailor & Francis, pp. 1-9.
- GLYNN, S.M.; DUIT, R. (1995): «Learning Science Meaningfully: Constructing Conceptual Models», en: *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice*. Mahwah, NJ. Lawrence Erlbaum Associates.
- HALLOUN, I.; HESTENES, D. (1987): «Modeling instruction in mechanics», en *American Journal of Physics*, n. 55, pp. 455-462.

HERNÁNDEZ, M.I. (2008): *Estudi de les concepcions dels estudiants de secundària sobre l'atenuació del so i les propietats acústiques dels materials*. Trabajo de investigación no publicado. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2000): «Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning», en S. OLSON Y S. LOUCKS-HORSLEY (eds.): *Committee on the Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry*. Washington, DC. National Academy Press. Disponible en: <www.nap.edu>

PINTÓ, R. (2002): «El trabajo experimental con nuevas tecnologías», en *Aula de innovación Educativa*, n. 117, pp. 33-38.

*Dirección
de contacto*

Digna Couso

Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM),
Facultat d'Educació, Universitat Autònoma de Barcelona (Bellaterra).

digna.couso@uab.cat

Este artículo fue solicitado desde *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* en mayo de 2008 y aceptado para su publicación en noviembre de 2008.