

DISEÑO Y PUESTA A PUNTO DE AULA INTERACTIVA DE ACÚSTICA EN EL MUSEO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL SAN PEDRO DE PAMPLONA

ARANA BURGUI, M.; SAN MARTÍN MURUGARREN, R. y ARAMENDÍA SANTAMARÍA, E.
Laboratorio de Acústica. Universidad Pública de Navarra.

Palabras clave: Acústica; Modelización; E-learning; Constructivismo; Aprendizaje significativo.

1. OBJETIVOS

El Aula Interactiva de Acústica situada en el Museo de Educación Ambiental San Pedro de Pamplona, tiene como objetivos los de fomentar la curiosidad y acercar al público los conocimientos científicos del campo de la acústica de una forma divertida y participativa. Persigue el objetivo común de otros museos de su mismo ámbito, “aprender y divertirse”, con la convicción de que la divulgación científica contribuye de manera importante a la concienciación no ya sólo en tanto a las conductas cotidianas personales como a la sensibilización social en general en la problemática de la contaminación acústica y su necesaria reducción. Por la variedad de sus contenidos, está diseñada para todo tipo de públicos, desde grupos escolares pasando por alumnos de carreras técnicas, a músicos profesionales. Pretende ser, además, una herramienta eficaz para educadores y agentes responsables de la sensibilización ambiental en materia de ruido.

2. MARCO TEÓRICO

En el diseño del Aula Interactiva se ha tratado de poner un énfasis especial en las relaciones Ciencia/Tecnología/Sociedad que enmarcan el desarrollo científico. Se ha planteado el manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una amplia variedad de situaciones dirigiendo todo este tratamiento a mostrar el carácter de cuerpo coherente que tiene la Ciencia. Según la concepción constructivista, la información externa es interpretada por la mente, que va construyendo modelos explicativos cada vez más complejos y potentes. Este modelo, enriquecido por diversas aportaciones teóricas como el *Aprendizaje Significativo* o los *Errores Conceptuales* (Novak, 1998), es el defendido en la actualidad por la Reforma Educativa y el que se ha intentado aplicar en la construcción y diseño de las experiencias que contiene el Aula. Se basa en que el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno o alumna ya sabe. La asimilación de nuevos conceptos va a modificar los ya existentes, la nueva información se incorpora a los esquemas de conocimiento y se organiza jerárquicamente con los conceptos y proposiciones que forman parte del componente intelectual del sujeto. Pero este componente es incompleto si no se toma en cuenta otro factor que hace posible el desarrollo de la estructura cognitiva del sujeto. Es lo que se identifica como *Cognición Situada* (Díaz-Barriga, 2002), procurar que el estudiante relacione los contenidos que ha aprendido con su entorno sociocultural. Siempre que se presente a los alumnos claramente las relaciones entre los conceptos puede producirse aprendizaje significativo por recepción.

El proceso de una visita al Aula incluye: una primera exploración de las ideas preconcebidas de los alum-

nos; actividades dirigidas a la construcción del significado de nuevos conceptos; y otras que permiten la interiorización de esos conceptos. De esa manera, se trata de favorecer que los estudiantes incorporen y esquematicen el concepto que se está aprendiendo, permitiendo la aplicación de las ideas aprendidas a nuevas situaciones.

3. DESARROLLO

El Aula Interactiva consta de: un conjunto de experiencias diseñadas para la comprensión de magnitudes acústicas básicas, abarcando aspectos relacionados con la generación, transmisión y percepción del sonido; dos puestos de trabajo interactivos sobre características y efectos del ruido, con especial incidencia en su reducción o eliminación; un conjunto de paneles informativos que persiguen aumentar los conocimientos sobre la problemática del ruido en la Ciudad y sus efectos. En la tabla 1 se presenta un resumen de todas las experiencias, su dificultad, el público al que están dirigidas y las ampliaciones y temas relacionados implementados en los puestos de trabajo interactivos que ayudan a comprender mejor el fenómeno físico involucrado en cada una de ellas. Las experiencias exclusivamente virtuales implementadas en los puestos de trabajo interactivos se muestran en la tabla 2.

TABLA 1
Resumen de las experiencias del Aula Interactiva

Experiencia	Dificultad	Dirigido a:	Ampliación y temas relacionados		
Slinkys	1	G	<u>1</u>	2	
Modos propios	2	A M	<u>2</u>	<u>3</u>	14
Semáforo	1	G	<u>4</u>	7	13 9
Generación de sonido	2	A M	7	<u>10</u>	15
Paneles	1	G	<u>11</u>		
Batidos	2	A M	<u>3</u>		
Parabólicas	1	G	<u>12</u>		
Ecualización	2	G M	<u>9</u>	<u>10</u>	13 Paneles
Cortinas	2	G	Auralización		Modos propios
Tubo discriminación temporal	1	G	4	5	<u>6</u>
Juguetes acústicos	1	G	<u>14</u>		

TABLA 2
Experiencias virtuales implementadas en puestos de trabajo interactivos

Nº	Ampliación y temas relacionados	Dificultad	Dirigido a:
1	Trasmisión de pulsos y ondas	3	A
2	Vibración de cuerdas, barras y membranas	3	A M
3	Modulaciones	2	A M
4	Sensibilidad a la amplitud	1	G M
5	Sensibilidad a la frecuencia	1	G M
6	Discriminación temporal	1	G M
7	Conceptos fundamentales	2	G
8	Aislamiento acústico	2	T
9	Pérdidas auditivas	2	G
10	Formas de onda del sonido y análisis espectral	2	G
11	Mapa de ruido	1	G
12	Boom Sónico	2	G
13	Legislación: Penalización por impulsividad y tonalidad	3	T
14	Ilusiones auditivas y resonadores de Helmholtz	2	A M
15	Enmascaramiento frecuencial	3	T M
16	Auralización	1	G T

Interpretación de códigos en tablas 1 y 2.

“Dificultad”

- 1 Baja, orientado a alumnos de E.S.O.
- 2 Media, orientado a alumnos de bachillerato.
- 3 Alta, universitarios, músicos o individuos con formación técnica específica.

“Dirigido a” define el tipo de interés en función de a quién están dirigidas.

- G** Interés general.
- A** Interés académico. Enfocada a estudiantes y educadores.
- M** Interés musical. Orientada a músicos.
- T** Interés técnico. Orientada a profesionales relacionados con el tema: constructores, arquitectos, legisladores...

“Ampliación y temas relacionados”

Subrayado: ampliación directa de la experiencia.

No subrayado: útil para la profundización de conocimientos.

4. EXPERIENCIAS

Todas las experiencias virtuales están implementadas en formato html. Pueden encontrarse en <http://www.unavarra.es/organiza/acustica/index.htm>, dentro del sitio web de la Universidad Pública de Navarra. Asimismo, el mapa de ruido interactivo, experiencia virtual 11, puede encontrarse actualmente en la web del Ayuntamiento de Pamplona, <http://www.pamplona.es/mapaderuido/mapaacustico.htm>. De todas las experiencias, hemos seleccionado tres representativas de los objetivos del aula. Cada una comienza con una breve descripción de los objetivos e incluye un fundamento teórico sencillo además de un método operativo donde se explica cómo se realizaría. Finalmente se hace una descripción de sus posibles aplicaciones.

4.1 Pérdidas auditivas

4.1.1. Objetivo.

Concienciar sobre los efectos negativos que una prolongada exposición al ruido provoca sobre nuestra capacidad auditiva.

4.1.2. Fundamento.

Pruebas audiométricas realizadas a personas sometidas durante largo tiempo a altos niveles de ruido revelan una pérdida de agudeza auditiva en la gama de frecuencias altas (3000-6000 Hz) y en particular alrededor de los 4000 Hz. Con el tiempo, la pérdida puede afectar a la banda conversacional (500-2000 Hz). El ruido destruye las células ciliadas del órgano de Corti (en el oído interno), originando una hipoacusia neurossensorial de percepción, con disminución de los niveles de audición tanto por vía aérea (a través del oído) como por vía ósea (transmisión del sonido a través del cráneo). Esta patología es irreversible.

4.1.3. Método operativo.

La experiencia comienza mostrando los resultados obtenidos por estudios científicos de pérdidas auditivas en función de los niveles y períodos de exposición (Taylor, 1965). Sin embargo, la valoración cuantitativa de estas pérdidas no aporta una información clarificadora sobre su incidencia en la audición. La experiencia ofrece la posibilidad de escuchar distintos fragmentos musicales en su versión original y tal y como los escucharía una persona que padece la pérdida auditiva mostrada en los resultados del trabajo referenciado. De esta forma, el usuario valora inmediatamente los efectos de la exposición a ruidos elevados.

La simulación se ha realizado para dos melodías diferentes: suite N°1 para violonchelo de J.S.Bach y fragmento de un cuarteto de cuerda de Shubert, en el que se aprecia más la pérdida auditiva, debido al mayor contenido de altas frecuencias (2-4 kHz). El trabajo de análisis consistió en filtrar las señales de audio ori-

giniales mediante el filtro resultante de las correspondientes pérdidas, en función de la frecuencia y tiempo de exposición (Aramendia, 2003). Cada enlace de audio viene acompañado de otro donde es posible apreciar la pérdida auditiva de forma gráfica. La figura 1 muestra el cuadro de comandos para acceder tanto a las auralizaciones como a las representaciones gráficas.

Simulación de pérdidas.	Exposición entre 5 y 9 años.	Exposición entre 15 y 19 años.	Exposición entre 25 y 29 años.	Exposición entre 35 y 39 años.	Exposición entre 40 y 52 años.
Bach. (Sin pérdidas)					
Shubert. (Sin pérdidas)					

FIG.1
Pantalla de control para la simulación de pérdidas auditivas

4.1.4. Comentarios.

Aproximadamente un 10% de la población mundial padece pérdidas auditivas. Muchas de estas situaciones son debidas a una exposición prolongada a niveles elevados de ruido. Esta problemática podría mitigarse con una campaña eficiente de concienciación. Esta experiencia ha resultado muy atractiva (y con respuesta impactante) para las personas a las que se ha mostrado. Especialmente lo ha sido el segundo fragmento musical, en el que resultan mucho más perceptibles las pérdidas, dado su alto contenido en frecuencias medias-altas. En definitiva, mostrar que, si bien nuestras pérdidas auditivas nos permiten todavía entender mensajes orales, podemos ser sordos para apreciar con deleite pasajes musicales.

La experiencia funciona mejor con personas sin pérdida auditiva alguna, pues pueden valorar los pasos sucesivos del deterioro auditivo. Sin embargo, personas con gran pérdida auditiva parten, ya para la emisión original, con una impresión equivocada de la partitura original. Por supuesto, no percibirán apenas señal en las emisiones subsiguientes. En este sentido, la experiencia es muy instructiva y concienciadora para personas que todavía no están afectados por pérdidas auditivas. Todavía más si son amantes de la música.

4.2 Sensibilidad a la frecuencia

4.2.1 Objetivo.

Evaluar la discriminación frecuencial para tonos puros.

4.2.2 Fundamento.

El oído funciona como un analizador de espectros; cada frecuencia excita un nervio determinado. En realidad esto no es rigurosamente cierto, ya que si penetra en nuestro oído un tono puro, no sólo se excita el nervio correspondiente a esa frecuencia sino también, aunque con menor intensidad, los nervios adyacentes que se corresponden con frecuencias próximas. No todos tenemos el mismo número de terminaciones nerviosas. Aquellos con mayor número son capaces de discriminar frecuencias más próximas entre sí. El proceso de discriminación de frecuencias también depende del intervalo temporal existente entre la escucha del primer sonido y el segundo. Otros factores de carácter cognitivo también intervienen en este proceso. La experiencia permite comparar aptitudes musicales de diferentes personas.

4.2.3 Método operativo.

La experiencia muestra una secuencia de números. Cada uno enlaza con archivos de audio en los que podemos escuchar 3 segundos de un sonido, pausa y 3 segundos de otro sonido muy próximo en frecuencia. Conforme vamos avanzando en la secuencia, el primer sonido se aproxima cada vez más al segundo, de forma que llega un momento en el que los dos nos parecen iguales, sin serlo en realidad. Ese momento tiene asociada una sensibilidad frecuencial calculada previamente. Hemos alcanzado nuestro umbral de discriminación frecuencial. El usuario puede así conocer su discriminación frecuencial. El valor se da en tanto por ciento y en intervalo musical (porcentaje de semitono). La discriminación depende de la fre-

cuencia original del primer sonido. Hay 3 secuencias para 3 frecuencias diferentes: 500Hz, 1 y 2 kHz. Se obtiene un valor de discriminación para cada frecuencia y un valor medio entre las 3. En uno de los archivos el primer sonido es exactamente igual al segundo, a modo de control de “hipersensibilidades” falsas.

4.2.4 Comentarios.

Esta práctica está orientada, fundamentalmente, para músicos. Podría ser útil como prueba de acceso a conservatorios. Una elevada discriminación frecuencial es sinónima, en términos musicales, de gran sensibilidad a pequeñas variaciones en la altura tonal y mayores posibilidades de interpretación musical. Una sensibilidad frecuencial de un buen intérprete puede rondar la treintava o incluso la cincuentava parte de un semitono.

El buen intérprete debe ser capaz de controlar la evolución tímbrica de la nota en función del tiempo, y sólo es posible teniendo, además de una buena sensibilidad temporal, una buena sensibilidad frecuencial. Cómo apliquemos el ataque a un instrumento puede influir no sólo en la tímbrica sino también en el tono. Además, muchos de los instrumentos no están divididos en semitonos, como un piano, en el que resulta más difícil desviarse del tono por una incorrecta interpretación. En el violín, la frecuencia depende de la posición del dedo en el mástil, siendo las posibilidades infinitas al no estar separado por trastes. Una mayor sensibilidad frecuencial implica una mejor pulsación de la nota.

4.3 Auralización

4.3.1 Objetivo.

Conocer una de las herramientas computacionales utilizadas para el diseño acústico de salas. Valorar la acústica de una sala de conciertos en la fase de diseño.

4.3.2 Fundamento.

La creciente potencia y relativo bajo precio de los actuales ordenadores personales ha hecho que se conviertan en una herramienta muy útil para arquitectos y acústicos a la hora de modelizar las condiciones acústicas de una sala por medio de software de simulación, sustituyendo progresivamente el uso de maquetas a escala, hasta hora único método válido para la modelización (Aramendia, 2005).

En la década de los 90 aparecieron los denominados sistemas de creación de sonido virtual, que permiten llevar a cabo lo que se ha convenido en llamar “auralización”, proceso a través del cual es posible realizar una escucha, en cualquier punto de un recinto, de un mensaje oral o un pasaje musical antes de que dicho recinto se haya construido o remodelado.

4.3.3 Método operativo.

La experiencia muestra una fotografía de una sala sinfónica. En las distintas zonas destinadas a la audiencia (zona seleccionada por el usuario) se puede escuchar cómo sonaría un pasaje musical en ese lugar y comparar con el sonido original en el escenario (en realidad, grabado en sala anecoica). Se ofrecen cinco tipos de pasajes musicales: soprano, mezzosoprano, tenor, violín y dúo flauta-guitarra.

4.3.4 Comentarios.

La experiencia es de indudable atractivo para los profesionales de la construcción y promotores y gestores de espacios escénicos. La comunicación entre experto musical y arquitecto puede corregir defectos acústicos en auditorios y salas de concierto en la fase de diseño. Las soluciones a posteriori pueden ser muy costosas.

5. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL AULA

El Aula de Acústica está incluida en una de las visitas que el Museo de Educación Ambiental San Pedro oferta a los centros de educación infantil, primaria, secundaria, bachillerato y formación profesional, dentro del programa de visitas escolares “Educación para la Sostenibilidad” que organiza el Ayuntamiento de

Pamplona. La visita “El sonido que pasa a ser ruido” tiene una duración media de dos horas. Una de ellas se desarrolla íntegramente en el Aula con grupos reducidos de 10 a 12 alumnos. Una primera y breve explicación de quince minutos da paso a la realización de diferentes actividades basadas en la utilización de juegos interactivos para obtener experiencias y adquirir conocimientos científicos.

Pese a no haber sido inaugurada oficialmente, por el Aula han pasado, sólo este último invierno, más de 200 estudiantes, todos ellos alumnos de enseñanza primaria y, principalmente, secundaria. En el futuro está previsto que se abra al público en general y a visitas de técnicos musicales y especialistas en acústica. La impresión general, tanto de los alumnos como de los tutores y encargados del museo, es muy positiva, y el boca a boca entre los docentes la está convirtiendo progresivamente en la más demandada de entre las visitas ofertadas. Su interactividad es muy valorada. Para los alumnos, su primer acercamiento al mundo científico se convierte en una experiencia enormemente satisfactoria. Los profesores encuentran la visita al Aula muy interesante como complemento a explicaciones teóricas, incluidas en el currículo de secundaria, difíciles de asimilar.

Si todas estas impresiones se complementan con la idea original de concienciar sobre los efectos nocivos de la contaminación acústica, podemos sin duda concluir que la implantación del Aula está siendo un éxito.

REFERENCIAS

- ARAMENDIA, E.; ARANA, M.; SAN MARTIN, R. (2003). Herramientas para la concienciación en la disminución del ruido. Auralización de pérdidas auditivas. *Proceedings of Tecniacústica 2003*. Bilbao, Spain.
- ARAMENDIA, E.; SAN MARTIN, R. ; ARANA, M. (2005). Computer tools to simulate acoustic phenomena. *Proceedings of Seventh International Conference on Computer Based Learning in Science CBLIS 2005*, Zilina, Slovak Republic.
- DIAZ-BARRIGA, F.; HERNANDEZ ROJAS, A. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista*. México: McGraw-Hill.
- NOVAK, J.D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 6 (3), pp. 213-223.
- TAYLOR, W.; PEARSON, J.; MAIR, A y BURNS, W. (1965). Study of Noise and Hearing in Jute Weaving, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 38 (1) pp. 113-118.