

Inclusión y acondicionamiento acústico

Reducir el ruido es cuidar a aquellos que más sufren

Juan Negrera, Doctor Ingeniero Acústico, en este artículo reivindica y argumenta a través de distintos estudios y alternativas probadas, la necesidad de tener en cuenta el acondicionamiento acústico a la hora de diseñar las aulas. Un mal acondicionamiento nos afecta a todos, pero más a las personas vulnerables y a las personas con discapacidades auditivas.

Juan Negrera

Doctor Ingeniero Acústico
Concept Developer (Saint-Gobain
 Ecophon España) & Profesor
 Universidad Lund (Suecia) y
 Universidad La Salle (Barcelona)

Ecophon
 SAINT-GOBAIN
 A SOUND EFFECT ON PEOPLE

juan.negrera@saint-gobain.com

@JNegrera_dB

Juan Negrera



No hace mucho tiempo, mientras daba una clase sobre acondicionamiento acústico, mencioné el *efecto social* que la exposición al ruido tiene sobre las personas. Casi de inmediato, un joven levantó su mano y me preguntó a qué me refería “con eso del efecto social”. Sin hacerse esperar, la respuesta a la pregunta llegó de otro oyente del público que explicó, mientras señalaba a su implante coclear, cómo él ha tenido que dejar de ir con sus amigos a ciertos bares y restaurantes “porque había mucho eco” y su implante “no funcionaba” como debiese. El joven también añadió que recordaba una sensación similar cuando era pequeño en clase ya que “también era muy difícil entender lo que decía el profesor”. Al efecto social de la incomodidad en espacios de ocio, esta persona había añadido también un efecto intelectual que, a menudo, obviamos en nuestro día a día en nuestros diseños. Los efectos de un mal acondicionamiento acústico nos afectan a todos en general, pero los más vulnerables son siempre los más perjudicados. En este artículo

nos centraremos en explicar cómo influye el ruido en la función cognitiva de alumnos y en el desempeño del trabajo de personal docente en escuelas.

Efecto de la exposición al ruido en alumnos y profesores

Los efectos del ruido en niños y maestros han sido objeto de numerosos estudios en los últimos 40 años. Durante las horas de clase, tanto alumnos como profesores están expuestos a diversos tipos de ruido (ruido exterior, ruido generado dentro del aula...). Está generalmente aceptado, y científicamente probado, que la exposición al ruido (excesivo) tiene un efecto perjudicial sobre el desarrollo cognitivo de alumnos. Esto incluye la reducción de capacidad memorística, motivación o capacidad de lectura, así como efectos negativos en los docentes.

Hace algunos años, Ecophon participó junto a la Organización Danesa de Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en una

campana en Dinamarca destinada a enseñar y concienciar a los niños sobre cómo el ruido en un aula puede afectar la forma en la que trabajan. En una de las actividades llevadas a cabo, se le pedía a una clase de niños de 7-8 años que dibujasen concentrados y en un ambiente tranquilo y silencioso (el silencio que puede haber en un aula con niños de esta edad), “la cosa” que más le gustase. Tras el primer dibujo y sin explicarle nada a los niños sobre el objetivo del experimento, se seleccionó por sorteo a Midas, un niño sin ninguna patología diagnosticada (ni hiperactividad, ni déficit de atención...) para que volviese a dibujar el mismo tractor que había escogido en primera instancia. Para motivarlo, le pedimos que realmente tratase de hacerlo lo mejor posible, y que no nos cabía la menor duda de que lo haría, ya que había podido practicar el mismo dibujo hacía unos minutos. Se le comunicó a sus compañeros de clase que durante este segundo dibujo podían comportarse como si estuviesen realizando un trabajo en grupo. Es decir, podían hablar con sus vecinos y darse la vuelta para hablar con sus compañeros. Además, se les permitió hablar sobre Midas, pero no directamente con él. Debido a que el aula no estaba tratada acústicamente, rápidamente se activó el efecto Lombard*. Midas se concentró todo lo que pudo y con orgullo mostró su segundo dibujo cuando terminó:

Figura 1. Imágenes del “Sound Education Seminar”, Camilla Lydiksen, CEO ADHD-föreningen.

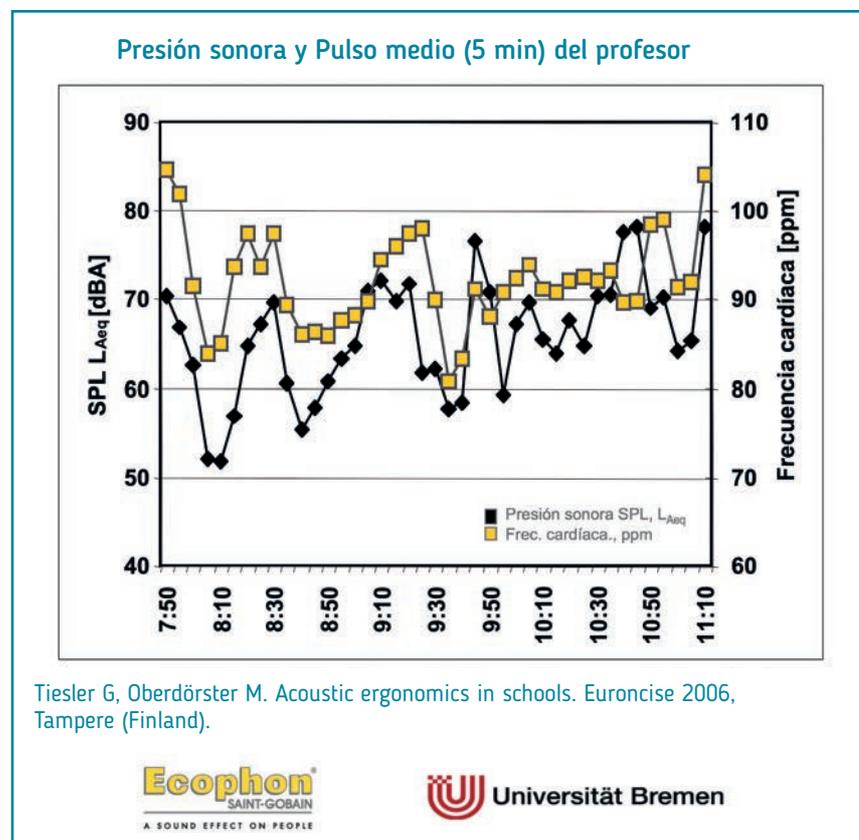


La diferencia entre los dos anteriores dibujos fue únicamente la exposición al ruido a la que Midas estuvo expuesto durante su realización. Midas, que rápidamente fue consciente de que el primer dibujo había sido mucho mejor del segundo, nos dijo decepcionado “pero si yo me concentré y esforcé todo lo que pude...”.

En línea con lo anterior, un estudio sueco¹ demostró que el 82% del personal docente considera que el comportamiento de los alumnos se ve muy afectado por el ruido en la clase, y que este produce efectos en los niños tales como distracción, agotamiento, efectos emocionales, tendencia a aglomerarse o retraimiento**.

¿Y con respecto a los profesores? En una de las investigaciones llevada a cabo en otro estudio entre la Universidad de Bremen (Alemania) y Ecophon², se añadió ruido de fondo a un aula en forma de murmullo, en diferentes niveles y de forma aleatoria, y mediante el uso de un altavoz situado al fondo de la estancia. Como consecuencia, el/la profesor/a tenía que adaptar su voz a este ruido de fondo mientras impartía sus clases. Para evaluar este hecho en su salud, se monitorizó su pulso para estudiar el efecto causa-consecuencia entre el nivel de ruido y la frecuencia cardíaca. En efecto, se observó una relación directa entre mayor ruido de fondo y aumento del pulso, ver Figura 2. El ritmo cardíaco es un estresor médico

Figura 2. Nivel sonoro en clase variado aleatoriamente mediante un altavoz emitiendo ruido en forma de murmullo (en negro y eje vertical izquierdo) a lo largo de la mañana (entre 7:50 y 11:10 en el eje horizontal) y pulso del profesor (amarillo y eje vertical derecho) durante toda la mañana².



Tiesler G, Oberdörster M. Acoustic ergonomics in schools. Euronise 2006, Tampere (Finland).



*El efecto Lombard es la tendencia involuntaria a incrementar el esfuerzo vocal cuando se habla en un lugar ruidoso para mejorar la audibilidad de la voz, lo cual aumenta en consecuencia el nivel de ruido de la estancia.

**Los resultados de este estudio se basan en los cuestionarios respondidos por 4.000 profesores de escuelas de preescolar en Suecia.

reconocido que conviene mantener controlado en la medida de lo posible.

Además del aumento del ritmo cardíaco debido al estrés, el 65% de los profesores tienen o tendrán alguna vez problemas de voz durante su carrera³. De hecho, según⁴, tienen una probabilidad 32 veces mayor de sufrir problemas relacionados con la voz que otros trabajadores con profesiones similares. En las escuelas primarias del Reino Unido, por ejemplo, se registran hasta 73.000 días de baja laboral al año debido a los problemas vocales de los profesores⁵.

Los más vulnerables son los que más sufren

Según la encuesta Internacional de Enseñanza y Aprendizaje de la OCDE (2019), es altamente probable que en cualquier clase haya un número de alumnos con necesidades especiales de audición y comunicación (SHCN), así como con necesidades de educación especial (SEN). Esto no solo incluye personas con pérdida de audición, sino también aquellos niños y niñas con problemas de atención, con autismo, con TDAH; y también aquellos que están recibiendo clases en un idioma distinto del materno, alumnos introvertidos, o incluso aquellos estudiantes que no estén en condiciones óptimas de recibir clase (alguien que esté medio dormido, triste, resfriado...). Según⁶, el 21% de la "población" de una escuela tipo pertenece al grupo que acabamos de describir y que podemos denominar "oyentes sensibles", por lo que el acondicionamiento acústico en estos casos resulta todavía más determinante.

Dockrell y Shield, en su estudio⁷, investigaron los efectos del ruido típico

en un aula sobre el rendimiento. Lo hicieron para asignaturas "de ciencias" (matemáticas); y "de letras" (lengua inglesa); y tanto entre estudiantes regulares como en estudiantes SHCN/SEN; y en dos condiciones típicas de clases urbanas:

1. Por una parte, se hicieron exámenes en un ambiente "silencioso"; es decir, en condiciones normales del aula cuando los niños trabajan en silencio, sin hablar entre ellos y sin ruido adicional.
2. Y por otra, en un ambiente "ruidoso"; es decir, cuando los alumnos estaban sometidos a un nivel de ruido introducido artificialmente (con altavoces) en el aula a modo de balbuceo/murmullo, a un nivel de 65 dB*.

Los resultados arrojaron que todos los alumnos se veían afectados por la presencia de ruido, y eso se vio reflejado en que sacaron peores notas. No obstante, se pudo observar que los niños con necesidades educativas especiales se vieron más afectados por el ruido y por tanto empeoraron

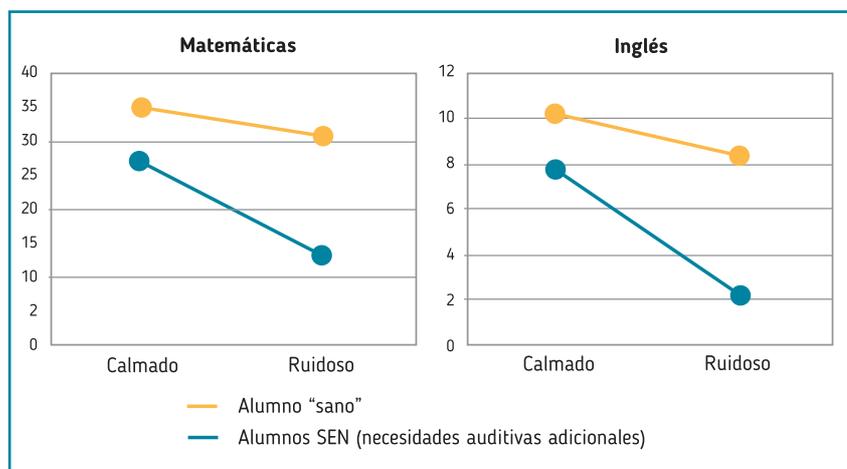
en mayor medida sus resultados que los alumnos con audición normal. Esto se puede apreciar en la mayor pendiente de la curva gris con respecto a la amarilla, en la Figura 3). Por otra parte, el empeoramiento de resultados académicos debido al ruido fue más acusado en inglés que en matemáticas en ambos grupos.

La discapacidad auditiva aumenta el riesgo de fatiga, el esfuerzo de escucha y el estrés, lo que puede poner en peligro la capacidad de un niño para aprender en un ambiente ruidoso y por lo tanto comprometer así su desarrollo intelectual.

¿Puede un buen acondicionamiento contribuir al bienestar de profesores y alumnos?

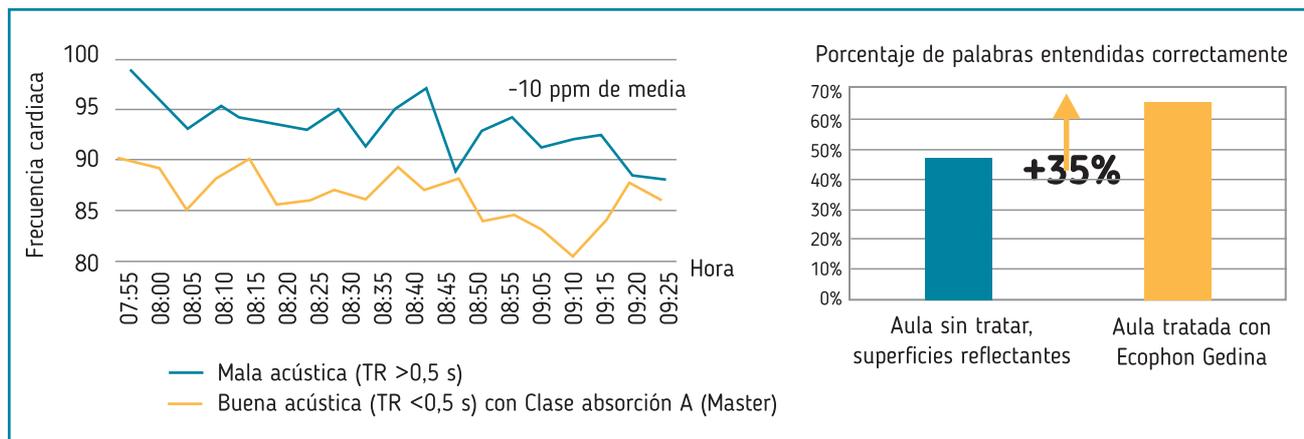
Retomando el parámetro de ritmo cardíaco como factor estresor médicamente probado; en un estudio publicado², se demostró que mediante un buen acondicionamiento acústico (busca del confort dentro de un espacio) de un aula* se podía reducir la frecuencia cardíaca de los

Figura 3. Efecto del ruido en alumnos sin necesidades auditivas (color amarillo) y en estudiantes con necesidades especiales (color gris) en test académicos de matemáticas (izquierda) e inglés (derecha)⁷.



*El decibelio nos indica el "volumen" de un sonido. A modo de ejemplo, una conversación de una persona a 1 metro de distancia a volumen normal tendrá entre 60-65 dB, y un avión despegando producirá un ruido de aproximadamente 130 dB. Un aumento de 10 dB lo percibimos los humanos como el doble del volumen.

Figura 4. Diferencia en pulsaciones de un profesor dando clase en una clase mal acondicionada y bien acondicionada (izquierda²), y mejora en la inteligibilidad de palabras durante un dictado con un aula acondicionada y sin acondicionar (derecha⁸).



docentes en 10 pulsaciones por minuto, comparado con la situación donde el acondicionamiento acústico del aula no era óptimo, ver Figura 4.

Se presenta un estudio del Gobierno Británico⁸, llevada a cabo por investigadores de la Universidad Heriot-Watt (Escocia) en sesenta aulas de quince colegios a lo largo de tres años. Este estudio reveló que casi todos los problemas relacionados con el ruido en aulas no procedían de causas que inicialmente se creían predominantes como el ruido de tráfico aéreo y rodado, sino del ruido producido por los propios alumnos durante sus actividades. Además, esto se veía agravado porque la mayoría de las clases no cumplían con los estándares de tiempo de reverberación antes de ser acondicionadas. Se demostró que el rendimiento de los alumnos, medido a través de palabras entendidas correctamente durante un dictado, mejoró un 35% cuando había un techo fonoabsorbente Clase A instalado en el aula, con respecto a

la situación donde el techo era muy reflectante (Figura 4).

Un estudio muy similar² se realizó en Alemania durante 570 lecciones en 70 clases de 5 escuelas diferentes, con niños de entre 5 y 11 años. El objetivo era también demostrar el efecto que tiene el ruido del aula en profesores y alumnos tras comparar distintas aulas con diferentes calidades de techos acústicos (diferentes clases de absorción). En aulas con buen acondicionamiento acústico, se observó que el nivel sonoro descendía 6 dB en la enseñanza tradicional (donde solo habla el/la docente), y 13 dB en los trabajos en grupo. Estos resultados contradijeron las medidas acústicas del efecto del techo fonoabsorbente que predecían una reducción de tan solo 3 dB. Lo que pasó fue que, tras la modificación del entorno sonoro, se notó un cambio en el comportamiento de profesores y alumnos. Al no tener que elevar la voz para hacerse oír, podían hablar más

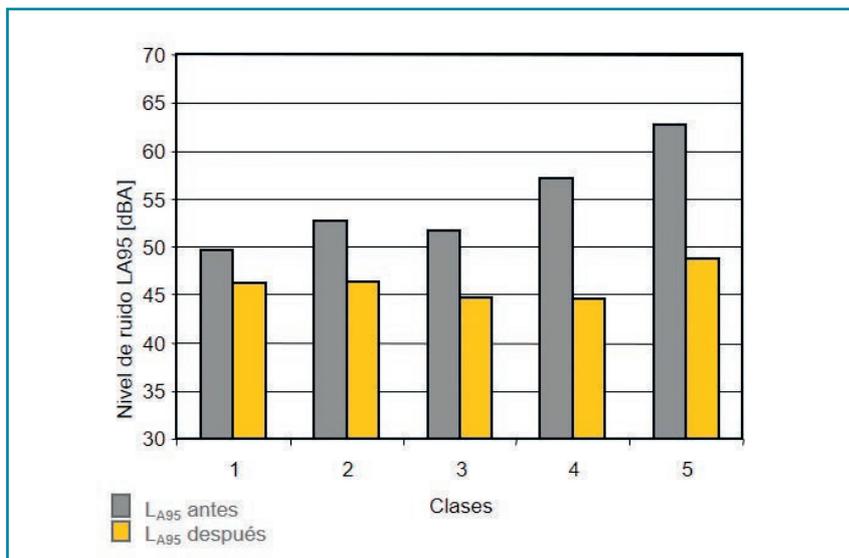
bajo y ser escuchados perfectamente, por lo que la reducción de niveles de ruido fue mayor a la esperada. Las aulas se convierten así en un entorno más relajado donde todos están más tranquilos.

Con una mala acústica en el aula, el ruido de actividad aumentará debido al efecto Lombard, convirtiéndose cada vez más en un factor de estrés tanto para profesores como para alumnos. Con un acondicionamiento acústico bueno, los descansos entre clases son lo suficientemente largos para el recreo, por lo que no hay un aumento de nivel de ruido en clases sucesivas debido a la fatiga acumulada⁹. La reducción del ruido en el aula también produce una mejor inteligibilidad del habla, genera menor fatiga y facilita la capacidad de concentración. En definitiva, mejora el entorno para el aprendizaje, ver Figura 5.

El Estudio Essex¹⁰ comparó un aula sin tratar acústicamente con tres au-

*Considerado aquí como un tiempo de reverberación inferior (~ eco) a 0.5 segundos y alcanzado a través de la instalación de un techo registrable fonoabsorbente con Clase de absorción A. La absorción es un parámetro fundamental a la hora de acondicionar espacios ordinarios (escuelas, oficinas, hospitales...) ya que mediante su adición conseguimos bajar la reverberación, mejorar la claridad del habla y reducir la propagación del sonido y la fuerza sonora. La absorción acústica define como la capacidad de un material para convertir la energía sonora incidente en calor, es decir, para no enviar de vuelta a la sala el sonido reflejado una vez que choca contra su superficie, y se clasifica según su rendimiento en diferentes clases: A, B, C, D y E (una clasificación parecida a la que existe en la eficiencia energética; donde A es la absorción y clase más alta. Se denota con la letra griega alfa (α) que varía entre 0 (un material totalmente reflectante) y 1 (absorción total). Más info en este vídeo¹³.

Figura 5. Diferencia en niveles de ruido (eje vertical) entre un aula mal acondicionada (gris) y una bien acondicionada (amarillo) durante 5 clases a lo largo de la mañana (eje horizontal)⁹. Se observa cómo en un aula acondicionada, los niveles de ruido no crecen debido a la fatiga acumulada de la exposición al ruido.



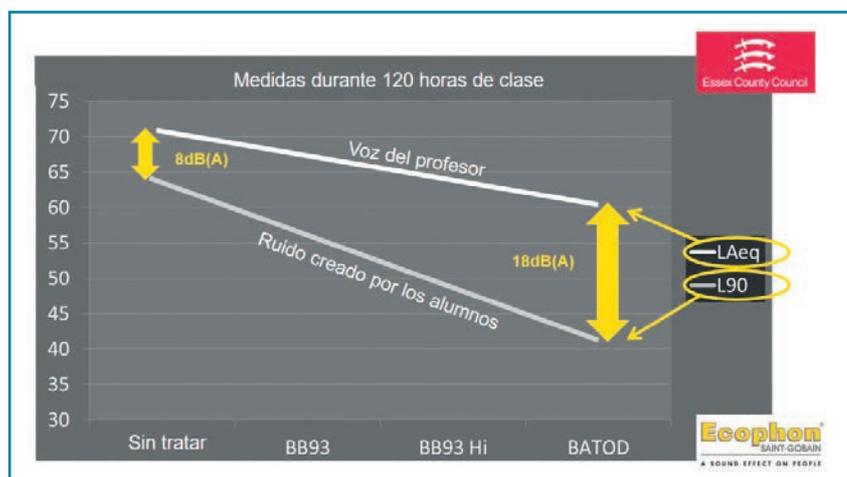
las que cumplieran con tres estándares diferentes de acondicionamiento acústico estipulados en las normas británicas (la norma BB93, el mínimo requerido; BB93, la calidad intermedia; y BATOD, el estándar que indica una calidad acústica maximizada). Los resultados mostraron que cada mejora en el acondicionamiento acústico lograba que los maestros y los estudiantes estuviesen más tranquilos; los alumnos generaban menos ruido y los maestros no tenían que hablar tan alto. Esto se traducía en más debates en el aula y trabajo en grupo, en una enseñanza más efectiva y en un menor estrés docente. En la Figura 6 se puede ver que a medida que el tratamiento acústico de la sala mejora, los niveles de ruido dominados por la voz del maestro disminuyen. Asimismo, también se observa que el nivel de ruido generado por los alumnos disminuye de forma más marcada. Esto proporciona una relación señal (voz)/ruido considerablemente mayor cuanto mejor es el acondicionamiento. Esto no solo implica que sea más fácil escuchar al profesor (con la consiguiente reducción de su esfuerzo vocal), sino

también un aumento de la calidad de enseñanza, ya que el docente tiene un rango mayor para jugar con su voz y el volumen de la misma, que por otra parte no será tan monótona, y en definitiva le facilitará captar la atención de los alumnos.

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de considerar la acústica a la hora de diseñar aulas para así promover una enseñanza y un aprendizaje de calidad.

Diseño acústico basado en

Figura 6. Diferencias en niveles de ruido (eje vertical) creados por alumnos y profesores para diferentes calidades de acondicionamiento acústico (eje horizontal)¹⁰.



la actividad – Acondicionamiento óptimo de un aula

El acondicionamiento acústico es vital para llevar a cabo las actividades que se desarrollan dentro de un aula, ya que, como hemos visto anteriormente, de él depende que la transmisión del mensaje, y por tanto de conocimiento, sea eficaz y el aprendizaje el deseado. No obstante, hay que tener en cuenta que hoy en día los métodos pedagógicos no contemplan solamente el tradicional monólogo profesor-alumnos, sino que en ocasiones existe una interacción mayor entre los estudiantes durante las horas de clase, o también más trabajos en grupo. Estos métodos propician, por tanto, que el nivel de ruido de fondo sea con frecuencia más elevado de lo que sería en una clase tradicional. Son un motivo más que refuerza la necesidad de introducir absorción en el espacio para bajar los niveles de ruido generales, la reverberación, aumentar la claridad de la palabra y prevenir la propagación del sonido para así poder trabajar eficazmente sin ser molestado por ruidos externos. Todo esto se traduce en que ni alumnos ni profesores tienen que forzar la voz para hablar y ser entendidos y por lo tanto en una mejor calidad de enseñanza y aprendizaje.

Entonces... ¿cómo debemos acondicionar un **aula tradicional** para que la enseñanza y el aprendizaje sean eficaces y eficientes?

1. **Reducir** el tiempo de **reverberación y niveles sonoros** mediante la utilización de un **techo absorbente Clase A pared a pared**.

- El tiempo de reverberación nos indica la velocidad a la que desaparece un sonido en un recinto. Está determinado por el volumen y la absorción de la estancia (es decir, cuanto mayor absorción y menor el volumen del recinto, más rápido decae el sonido). Un tiempo de reverberación demasiado largo producirá "ecos". Este es el único parámetro que regula el Código Técnico de la Edificación en su documento básico de protección contra el ruido (CTE DB-HR¹¹) para acondicionamiento. Para clases (de menos de 350 m³) nos lo limita superiormente a 0.7 segundos (si están vacías) o a 0.5 segundos (si las medidas o cálculos se realizan teniendo en cuentas sillas y mobiliario).
- No obstante, existen estudios en los que se demuestra que el uso del tiempo de reverberación como único requisito para describir adecuadamente la percepción del confort acústico de un espacio¹².

2. Utilizar elementos que **reduzcan la presencia de bajas frecuencias** (por ejemplo, mantas de lana de vidrio por encima del falso techo).

- Se ha demostrado que la existencia de frecuencias

bajas (equipos de refrigeración, tráfico exterior...) dificulta la atención y concentración.

3. **Mejorar la claridad del habla** mediante actuación en paredes (paneles de pared, difusores...). La presencia de absorción en la pared hace que se reduzcan las reflexiones paralelas al techo y suelo, mejorando así la inteligibilidad del discurso.

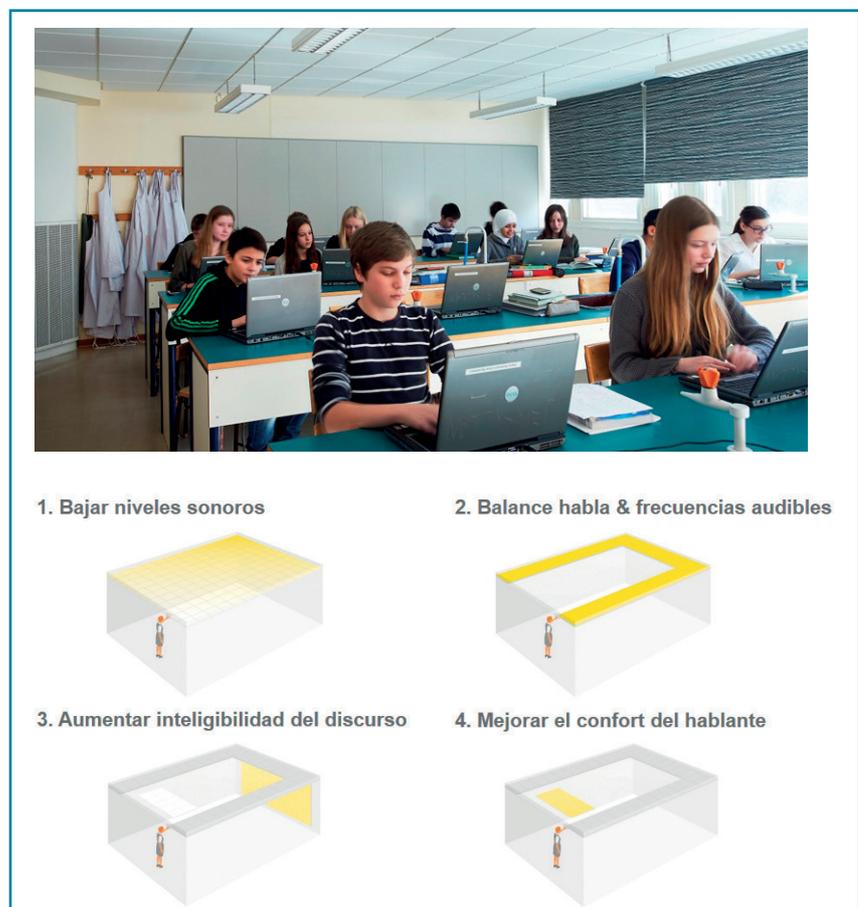
- Se colocará absorción en pared en dos superficies verticales adyacentes y a la altura del habla, aunque la opuesta al profesor es la más importante. Se recomienda instalar el 20% de superficie en planta del techo en paredes.

- En caso de no poder instalar absorción en paredes, se intentará desregularizar lo más posible el diseño para minimizar las reflexiones entre superficies paralelas: inclinar paredes, uso estanterías, percheros, etc.

4. Por último, para **garantizar** la total **comodidad del profesor**, existe la posibilidad de añadir una pequeña zona reflectante del discurso en el techo sobre el lugar en el que se suele colocar el profesor. Esto permitirá que este escuche su propia voz con mayor claridad, reduciendo así el riesgo de que la fuerce de manera innecesaria.

En **escuelas abiertas**, cada vez más comunes, sería interesante

Figura 7. Resumen esquemático de los pasos para acondicionar de forma óptima un aula (ABAJO) y caso real implantado (ARRIBA). Imágenes propiedad de Ecophon.



mencionar primeramente la importancia del comportamiento (tanto del personal como de los alumnos) y la gestión del colegio. De esto depende que una filosofía pedagógica como esta tenga éxito (no solo desde el punto de vista de la enseñanza y del aprendizaje sino también del acústico). Todos deben de ser conscientes del concepto de escuela abierta, creer en él y comportarse en consecuencia. Algunos puntos a tener en cuenta son:

- Se debería adoptar un “*diseño acústico basado en la actividad*”. Zonificar según actividades y separar aquellas ruidosas de las que requieren concentración es vital para el “éxito acústico” de un espacio.
- La clave es **absorber localmente y prevenir** (a través de uso de materiales, mobiliario... que produzca la adecuada absorción, reflexión, difusión) la **propagación de sonido**, teniendo muy en cuenta los caminos indirectos (reflexiones, etc.).
 - Es importante siempre pensar en la regla general “línea de visión/línea sonora” para así poder reducir la propagación. Evitar re-

flexiones que produzcan la propagación indeseada a la hora de distribuir espacios es primordial.

- Para ello se usará mobiliario adecuado (percheros y estanterías móviles...) como separador de espacios, etc.

Como medidas indirectas (independientemente de si tratamos aulas tradicionales o abiertas) es aconsejable la utilización de elementos blandos en las patas de las sillas (ruedas u otro alternativo) que ayudarán a que no aumenten los niveles de ruido de fondo al arrastrar las mismas. Asimismo, las alfombras, instaladas en zonas de circulación, ayudarán tanto a impedir que el nivel de ruido aumente como a absorber (marginalmente) frecuencias altas.

Además del acondicionamiento acústico (es decir, del tratamiento de la sala para mejorar el confort), es también importante prestar atención al aislamiento (que estudia la penetración de ruido de una estancia a otra) en caso de que haya espacios adyacentes y/o exteriores que puedan producir niveles de ruido elevados. Esto se hace controlando las envolventes del edificio, ejecuciones en obra, etc. ■

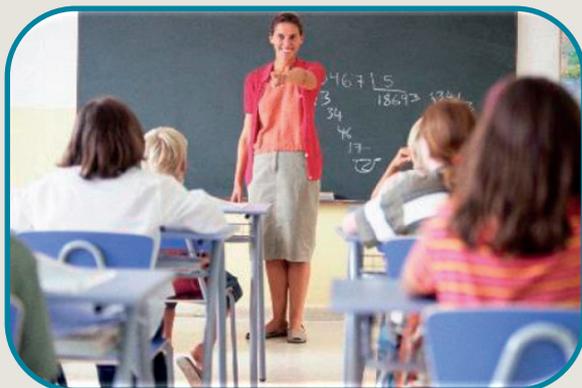
Resumen

Hemos visto en este artículo la importancia de pensar en la acústica a la hora de diseñar espacios, y especialmente escuelas. El ruido al que profesores y alumnos están sometidos es un factor fundamental para facilitar una docencia y aprendizaje de calidad. Ignorar el acondicionamiento acústico a la hora de diseñar nos afecta a todos, pero especialmente a más a los más vulnerables.

Me gustaría acabar con un símil acústica-visión para el que me valgo de estas dos fotos. Suelo comparar una mala acústica con una foto borrosa, que jamás aceptaríamos en nuestro álbum de fotos, ¿verdad? Sin embargo, sí que aceptamos en nuestro día a día escuelas “borrosas”, restaurantes “borrosos”, y oficinas u hospitales “borrosos”; y nos resignamos ante una mala acústica pese a sus consecuencias perniciosas para nuestra salud y desarrollo integral como personas... ¿Hasta cuándo?

Figura 8. Utilización de elementos blandos en las patas de las sillas (pelotas de tenis o ruedas).





REFERENCIAS

1. K. Persson Waye, S. Fredriksson, L. Hussain-Alkhateeb, J. Gustafsson, Irene van Kamp: Preschool teachers' perspective on how high noise levels at preschool affect children's behavior, PLoS ONE 14(3):e0214464, 2019.
2. Tiesler, G., Oberdörster, M: Acoustic ergonomics in schools, Proceedings of Euronoise 2006, Tampere (Finland).
3. Durup et. al: How classroom acoustics affect the vocal load of teachers, Energy Procedia, Volume 78, pp 3084-3089, 2015.
4. American Speech-Language-Hearing Association (ASHA), USA.
5. Royal National Institute for the Deaf (RNID), United Kingdom.
6. Scottish Government Report: Implementation of The Education (Additional Support for Learning) (Scotland) Act 2004 (as amended) Report to Parliament 2014, United Kingdom (2014).
7. Shield, B.M. and Dockrell, J.E.: The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. Journal of the Acoustical Society of America 123(1), 133-144, USA (2008).
8. MacKenzie, D. J., Airey, S.: Classroom Acoustics - A Research Study, Heriot-Watt University, United Kingdom (1999).
9. Tiesler G, Communication Behaviour and Workload of Students and Teachers in Highly Absorbent Classrooms, In Proceedings of Euronoise 2018.
10. Canning, D.; James, A.: The Essex Study - Optimized classroom acoustics for all, The Association of Noise Consultants, United Kingdom (2012).
11. Código Técnico de la Edificación - Documento Básico de Protección contra el Ruido (CTE DB-HR), 2009.
12. Campbell C., Nilsson E., Svensson C.: The same reverberation time in two identical rooms does not necessarily mean the same levels of speech clarity and sound levels when we look at impact of different ceiling and wall absorbers, Proceedings of IBPC 2015.
13. Vídeo "Cámara reverberante vs. Cámara anecoica"(Juan Negreira): <https://www.youtube.com/watch?v=DXmUQfohYHg>