

La acústica de las aulas de música en los centros escolares.

Paloma Pérez Castillo.
Doctorado en Psicodidáctica.

Las aulas de música de los Institutos de Educación Secundaria carecen por lo general de características acústicas adecuadas. Es frecuente que además de una falta de aislamiento acústico respecto del exterior, haya además a nivel interno carencias que afectan a la comunicación oral y musical, por ejemplo, tiempos de reverberación inadecuados, falta de claridad acústica, etc. En este estudio se desea analizar las causas que determinan las condiciones acústicas idóneas en las aulas de música y propuestas que conduzcan a su mejora. Actualmente hay conocimiento tanto de tipo físico como psicoacústico para la mejora de las condiciones acústicas de los recintos. Las soluciones que se generen para la mejora acústica de las aulas supondrán un notable aumento en la efectividad de la comunicación oral y musical dentro de la didáctica de la música.

Area de conocimiento : 190.

Códigos de la UNESCO : 2201.04

Palabras clave : *Condiciones acústicas, claridad, comunicación, sensibilización, didáctica.*

Generally speaking music in classrooms from Grammar Schools lacks appropriate acoustic characteristics. Apart from lacking in acoustic isolation with regard to outside, there are often internal deficiencies affecting oral and musical communication such as unsuitable reverberation times, lack of acoustic clearness. The aim of this research is to analyze the causes determining adequate acoustic conditions within music classrooms and suggestions leading these conditions to improvement. Nowadays there is a physical as well as a psychoacoustic knowledge that contributes to the improvement of the acoustic conditions of enclosures. Solutions generated for the acoustic improvement within music classrooms will imply a remarkable increase in the effectiveness of musical and oral communication within music didactics.

Area of knowledge : 190.

UNESCO codes : 2201.04

Key words : *acoustic conditions, clearness, communication, sensitiveness, didactics.*

INTRODUCCIÓN.

Las aulas de música de los Institutos de Educación Secundaria (I.E.S.) carecen, por lo general, de características acústicas adecuadas. Es frecuente que además de una falta de aislamiento acústico respecto del exterior, haya además a nivel interno carencias que afectan a la comunicación oral, por ejemplo tiempos de reverberación inadecuados, falta de claridad acústica etc.

Ello supone serios problemas en la enseñanza de la música lo que hace necesario buscar una solución.

La normativa y legislación sobre construcciones escolares (NBE-ca-81, NBE-ca-82 y NBE-ca-88) no hacen referencia a las condiciones acústicas que deben tener las aulas o cualquier recinto escolar.

El Ministerio de Educación y Ciencia en *el Real Decreto 1004/1991, de 14 de junio*, por el que se establecen los requisitos mínimos en los centros que imparten enseñanzas secundarias, expone en el artículo 4º *que los centros docentes deberán situarse en edificios independientes, destinados exclusivamente a uso escolar; y en el artículo 5º expone que los centros docentes deberán reunir las condiciones higiénicas, acústicas, de habitabilidad y de seguridad, que se señalen en la legislación vigente, además de los requisitos que se establecen en este Real Decreto. En el artículo 25 dice que los centros en los que se imparte Educación Secundaria Obligatoria dispondrán, como mínimo, de tres aulas de 45 metros cuadrados cada una, para las áreas de música, informática y plástica por cada 12 unidades o fracción. Respecto del aula de música dice que debe ser independientemente, amplia y espaciosa, diáfana y con buenas condiciones acústicas (de aislamiento y reverberación). El sonido necesita un cierto volumen de aire para proyectarse y resonar con libertad, por lo que el techo debe de ser alto.*

Esta información es insuficiente para conseguir una "buena" aula de música, en la que se hable y se haga música, es decir, *se debe percibir una buena comunicación oral y una buena comunicación musical.*

Las aulas de música no satisfacen frecuentemente ni los requisitos básicos de las normativas, y otras veces, aun cumpliéndolos, se encuentran lejos de unas mínimas condiciones de adecuación acústica

El punto de partida podría ser explicar en los centros escolares la importancia de la configuración acústica de las aulas para poder llevar a cabo la tarea educativa-formativa y analizar hasta que punto la sociedad escolar está sensibilizada con este problema, conoce sus consecuencias, y si realmente lo consideran importante.

Actualmente hay conocimiento tanto de tipo físico como psicoacústico para una mejora de las condiciones acústicas de los recintos. Este conocimiento, adecuado y desarrollado a las aulas de música, puede permitir una notable mejora para las actividades musicales y para la comunicación oral. En esta línea se plantea el presente proyecto de Tesis Doctoral.

METODOLOGÍA.

Para llevar a efecto este proyecto se plantea analizar aulas representativas de cuatro centros, dos en Logroño y dos en Bilbao, consistiendo los análisis en los siguientes bloques fundamentales:

a) Audición de las respuestas sonoras en aulas con análisis de parámetros vivenciales tales como la claridad, inteligibilidad, sensación de reverberación, colorido sonoro, calidez, y otros. El establecimiento de métricas vivenciales nos va a permitir cuantificar diferentes características sonoras mediante Test de inteligibilidad y diferentes juicios de calidad y cualidad.

Un soporte de los juicios perceptivos se llevará a cabo mediante medidas físicas y pruebas audiométricas. Los alumnos podrán prestar una buena colaboración en las pruebas, tanto audiométricas como de inteligibilidad, en la que han de escribir las palabras que oyen o creen oír al emitir el test en el aula.

Para las pruebas de inteligibilidad de la palabra se utilizará como material fonético un test de inteligibilidad consistente en cien palabras bisílabas fonéticamente.

b) Mediciones físico- acústicas por medio de un analizador de Fourier (tipo 2034 de la Brüel & Kjaer y el 2800 de la Larson Davis con las terminales adecuadas) que determinarán tiempos de decaimiento primario (EDT), de reverberación, de elevación, de claridad, así como respuestas de nivel sonoro y procedimientos Rasti.

c) Establecimiento de correlaciones entre parámetros vivenciales y parámetros físicos mediante el cálculo de coeficientes de correlación y líneas de regresión.

d) Para el caso de *aislamientos* a ruido de impactos, la norma NBE-Ca-88 indica que el nivel de ruido de impacto normalizado en el espacio subyacente no podrá ser superior a 80 db A. Un bajo aislamiento de los cerramientos implica la existencia de ruido de fondo significativo. El valor del aislamiento para cerramientos debe ser superior a 46 db A.

e) *Realizar un cuestionario presentado a los alumnos, otro presentado a los padres de alumnos y otro a los profesores*, para conseguir información de las tres partes que intervienen en el estudio y que más se pueden beneficiar de las conclusiones finales de este proyecto.

f) Análisis de resultados referenciando respecto de leyes de la Psicoacústica, controles auditivos de los encuestados, conclusiones y planteamientos de mejoras en las condiciones acústicas de las aulas que complementarán el desarrollo del estudio del proyecto.

DEFINICIÓN DE VARIABLES.

Las variables principales de este estudio se obtienen de los objetivos que pretendemos conseguir:

- **Confort en la comunicación oral**, para que las interacciones profesor-alumno y alumno-alumno se puedan llevar a cabo con normalidad.

• **Confort en la actividad musical**, para poder realizar todos los bloques de contenidos que propone el Diseño Curricular Base.

El confort de la comunicación oral vamos a expresarlo a través de la **inteligibilidad**. A su vez tanto la inteligibilidad como la idoneidad de la actividad musical la estudiaremos a través de las siguientes variables :

Nivel sonoro, ya que dependiendo de los decibelios en que se emita cada bloque de palabras la inteligibilidad varía.

Nivel de ruido, ya que su aumento o su disminución variará la inteligibilidad.

Tiempo de reverberación, definido como el tiempo que tarda en decaer una señal estacionaria sesenta decibelios una vez cesada la fuente.

Claridad acústica, definida mediante la siguiente fórmula:

$$C = 10 \log. \frac{0.0001 p^2 \cdot dt}{80 \cdot p^2 \cdot dt} \quad (p = \text{presión}).$$

Tiempo de decaimiento primario (E.D.T.), es decir, tiempo en que tarda en decaer un pulso de diez decibelios.

Tiempo de elevación, definido como el tiempo que tarda en llegar el cincuenta por ciento de la energía sonora generada por un pulso. (Rapidez de respuesta de la sala).

Capacidad auditiva del alumno, según el nivel de audiogramas.

Capacidad de atención del alumno, cuando realiza las pruebas, según la observación de los presentes.

MUESTREO.

Se han seleccionado cuatro aulas de música de cuatro Institutos de Educación Secundaria de La Rioja con características acústicas diferentes.

Las pruebas se realizaron a ocho grupos, dos por aula de música y el total de alumnos que han realizado la prueba es de 177.

RECOGIDA DE DATOS.

La recogida de datos se realizó personalmente a través de una prueba de inteligibilidad de la palabra y una encuesta .

La prueba de inteligibilidad de la palabra: El material fonético utilizado en el Test consiste en cien palabras bisílabas equilibradas fonéticamente, de acuerdo con la distribución de fonemas existentes en el idioma español, pero estos fonemas forman palabras sin sentido. Las cien palabras están agrupadas en diez grupos de diez palabras. El Test ha sido grabado previamente en compact-disc. La emisión de cada grupo de palabras se ha realizado a niveles crecientes de intensidad y con el mismo radiocassette, que se colocó en la posición más frecuente ocupada por el profesor.

Los alumnos fueron instruidos sobre la realización de la prueba, que consiste en escribir sobre una plantilla las palabras del Test que han oído o creen haber oído; entre palabra y palabra hay siete segundos, lapso suficiente para escribirlas. Las pruebas se han llevado a cabo en condiciones habituales de funcionamiento de las clases, pero siempre con las ventanas y puertas de las aulas cerradas.

La encuesta: Consta de cinco preguntas como se puede ver en la documentación adjunta. Con ello se trata de ver cómo el alumno oye la voz de su profesor y qué ocurre cuando realizan actividades en grupo.

ANÁLISIS .

La prueba de inteligibilidad supone una medida cuantitativa del entendimiento de la palabra. Una alta inteligibilidad supone una cómoda percepción de la palabra y de la actividad musical.

Los datos de esta prueba han sido analizados a la luz de los resultados procesados por los procedimientos estadísticos siguientes:

- Valores medios y desviaciones típicas.
- Coeficientes de correlación lineal y líneas de regresión en diferentes variantes (entre diferentes bloques de palabras en función de los alumnos , entre diferentes alumnos en función de dos bloques, entre diferentes aulas.....).
- Respecto a parámetros físicos se ha realizado una valoración media de los niveles de intensidad sonora a través del analizador de Fourier de doble canal de la casa Larson - Davis, modelo 2900 B . Aparecen algunas fluctuaciones de intensidad entre palabras de un mismo bloque ya que hay algunas consonantes más vibrantes que otras. El bloque de menor intensidad se encuentra a 42 dB y el de mayor intensidad a 76 dB. Del primer bloque al segundo hay diez decibelios de diferencia ascendente, del segundo al quinto de cinco decibelios y del quinto al noveno de dos decibelios.

Los datos se han recogido mediante tablas de datos, y los resultados obtenidos con sus consiguientes **conclusiones** son:

- *Los valores de inteligibilidad* aumentan notablemente con la intensidad sonora pudiéndose llegar en el caso de algunos alumnos al cien por cien . Estos resultados van en el mismo sentido que en pruebas realizadas por otros investigadores.

- *La inteligibilidad varía considerablemente de unas aulas a otras. La máxima la alcanza el aula de música del I.E.S. " Hermanos D'Elhuyar " con 80'636 % , 80'14 % el I.E.S. " Escultor Daniel", 70'38 % el I.E.S. " Batalla de Clavijo " y 60'39 % el I.E.S. "Duques de Nájera".*

Es posible conseguir el cien por cien de inteligibilidad ya que diez alumnos lo demuestran; además en todos los centros se ha dado este caso. Esto indica que existe la posibilidad de aprendizaje de los alumnos para aumentar la inteligibilidad y sugiere que hay aulas muy mejorables acústicamente.

• *El umbral de inteligibilidad, que indica que, con menor esfuerzo del profesor los alumnos oyen bien, está colocado a un cincuenta por ciento. El I.E.S. " Hermanos D'Elhuyar " lo alcanza a 56 dB, el I.E.S. " Batalla de Clavijo " entre 55 y 64 dB , el I.E.S. " Escultor Daniel " entre 65 y 66 dB y el I.E.S. " Duques de Nájera " entre 64 y 66 dB.*

Realizado un mismo análisis omitiendo los alumnos que no habían conseguido poner siete palabras en un bloque y los resultados apenas varían, la media sube un poco y el coeficiente de correlación entre bloques permanece igual.

• *Un mismo alumno entiende mejor unos fonemas que otros. Esto quiere decir que aunque aumente la intensidad en los bloques no necesariamente debe aumentar el número de palabras correctas, aunque es lo más normal.*

Los fonemas que los alumnos confunden son los siguientes:

c - z, f.	b - d, t.	f al inicio	l - r, n.
d, c, b, g	d - z, p	f - z, g, p, h	s - x
p - b, c, t	j - e, l	o - a, u	j - z, g
ñ - n	n - m, mi, ni	v - g, b, m	

El hecho de que un alumno entienda mejor unos fonemas que otros ha supuesto alguna excepción en la tendencia general de mayor número de aciertos de palabras al aumentar la intensidad. Esta tendencia general queda ratificada con el dato siguiente :

El coeficiente de correlación de las cuatro aulas de música en función de la media obtenida por los alumnos en cada bloque oscila entre 0'87y 0'97y las rectas obtenidas resultan muy similares.

La relación de las líneas de regresión entre bloques es más inestable que entre alumnos. Esto quiere decir que la relación entre el primer bloque y el segundo no es la misma, por ejemplo, entre el quinto y el sexto bloque. En cambio el cómputo global de los resultados de dos alumnos elegidos al azar ofrecen coeficientes de correlación muy similares y elevados.

• *Los alumnos opinan , en tres centros, que oyen bien a su profesor en la clase de música, excepto en " Hermanos D'Elhuyar, que opinan que oyen regular.* Aspecto curioso ya que el aula de música de este centro alcanza el mayor nivel de inteligibilidad. También destacar que *los dos Institutos de mayor antigüedad "Hermanos D'Elhuyar" y "Batalla de Clavijo" tienen el aula de música en mejor situación en el centro* para eliminar el ruido exterior, es decir, el aula da a un patio interior, y los otros dos Institutos de menor antigüedad son los que sufren mayores problemas con el ruido exterior.

• El Ministerio de Educación y Ciencia en el *Real Decreto 1004/1991*, de 14 de Junio, por el que se establecen los requisitos mínimos en los centros que imparten enseñanzas secundarias, expone en el artículo veinticinco que *" los centros dispondrán de una aula de música de cuarenta y cinco metros cuadrados por cada doce unidades o fracción.*

Teniendo en cuenta lo dicho , *el aula de música del I.E.S. " Batalla de Clavijo" cumple los requisitos* ya que es un centro con poco alumnado y dispone del aula más grande. El resto de los centros no lo cumplen ni con mucho. El aula de música de menor espacio es la del I.E.S. " Duques de Najera ".

- El ruido exterior conlleva un levantamiento en el umbral de inteligibilidad e influye considerablemente en la audición de los primeros bloques de palabras cuya intensidad es baja. El I.E.S. con más ruido exterior es " Escultor Daniel ", en él los alumnos son los que más tardan en empezar a oír y a percibir los diferentes fonemas (52 dB), al igual que en el I.E.S. " Duques de Nájera ". En cambio el I.E.S. " Hermanos D'Elhuyar " y " Batalla de Clavijo", que tiene menor ruido exterior oyen a 42 dB.

En el I.E.S. " Hermanos D "Elhuyar" es donde más palabras se oyen bien en el primer bloque y esto es debido a que la clase de música está insonorizada y el ruido exterior es nulo. Pero sus paredes laterales son semiduras y el techo y el suelo duro por lo tanto no absorben el sonido y lo reflejan. Esto quiere decir que la insonorización del interior no es la adecuada ya que el tiempo de reverberación es elevado. Este aula es buena como aula magistral, pero mala para la música porque, aunque tiene buena inteligibilidad, la claridad es baja para realizar actividades en grupo. De aquí se puede deducir que las mejores medidas de inteligibilidad no parecen asegurar que resulten mejores aulas para la actividad musical. Aunque una profundización queda pendiente a estos respectos, parece que es debido a la incidencia importante del "ruido exterior" y del "tiempo de reverberación".

- *La reproductibilidad* es razonablemente buena.

PROCEDIMIENTO.

La cuantificación de la inteligibilidad (resultados perceptivos) llevada a efecto mediante análisis estadístico de palabras acertadas se complementará con mediciones de tipo físico-acústico. Esto es importante ya que los parámetros acústicos son medibles objetivamente y pueden determinar un control en término de causa-efecto para la mejora de las características de las aulas.

Como **señales estacionarias** estudiaremos el tiempo de reverberación.

Con **pulsos instantáneos** estudiaremos el tiempo de decaimiento primario, el tiempo de elevación y la claridad acústica para la música y para la palabra.

Por otra parte, el análisis del **efecto del ruido** en la inteligibilidad y en el confort para la actividad musical lo determinaremos mediante la generación de ruido blanco y ruido rosa, así como con diferentes bandas de frecuencia de estos.

INTERÉS CIENTÍFICO Y SOCIAL.

En el desarrollo de este proyecto se presenta una amplia problemática sobre el comportamiento de las señales acústicas en los recintos así como aspectos relativos a la percepción de estas señales. Ello conlleva una indagación que permita solu-

cionar problemas pertenecientes a las Ciencias Físicas y a las Ciencias Psicológicas, con especial hincapié en la conexión entre los estímulos sonoros y la vivencia auditiva.

Las soluciones que se generen para la mejora acústica de las aulas de música supondrán un notable aumento en la efectividad de la comunicación oral y musical dentro de la didáctica de la música.

Debido a que las presentes normativas no están lo suficiente definidas como para que su aplicación asegure unas condiciones acústicas adecuadas, se trata también de desarrollar planteamientos que contribuyan a una precisión en términos objetivos de las características acústicas que un aula debe satisfacer.

BIBLIOGRAFÍA .

- Alarcos, E. (1965) : *Fonología Española*. Gredos . Madrid.
- Delgado, C; Perera,P; J.S. (1994) : *Inteligibilidad de la palabra en aulas escolares*. Revista acústica. N° 25. Pag. 5-10 y 21-28. Madrid.
- Fernández, M. y Menéndez del Campo, R. (1994): *Condiciones acústicas de los centros escolares*. Revista Música y Educación. N° 20. Pag.51-58. Madrid .
- Fletcher, N. y Rossing, T. (1991): *The Physics of the Musical Instruments*
- Houtgast, T. and Steeneken, H. (1973): *The Modulation Transfer Function in Room Acoustics as a Predictor of Speech Intelligibility*. Acústica Vol. 28, p. 66-73
- Kinsler, L.& Frey, A. (1988): *Fundamentos de Acústica*, Editorial Limusa.
- López, I. (1993): *Efectos del ruido en la población escolar. El ruido como problema ambiental*. Agencia de Medio Ambiente. Madrid.
- Lienard, J.S. (1997): *Les procesus de la communication parlée*. Masson. París.
- González Suárez, J.; Daumal Domenech, F.(1991): *Rehabilitación acústica de aulas*. El Instalador. N°263. Pag. 45-52. Valladolid.
- Hall, D. (1980): *Musical Acoustics*, Donalt. Wadsworth Publishing Company.
- Mackenzie, G.W. (1968): *Acústica Moderna*. Técnicas Rede. Barcelona.
- Morevcsik, Michael J. (1987): *Musical Sound*. Paragon House Publishers. New York.
- Olazábal, T. (1954): *Acústica Musical y Organología*. Editorial Ricordi.
- Pereira, Pedro Flores (1990): *Manual de acústica, Ruidos y vibraciones*. Pérez Fajardo. Barcelona.
- Pierce, John R. (1985): *Los sonidos de la Música*. Labor. Barcelona.

Sanz, José Manuel (1987): *El ruido*. Ministerio de obras públicas y urbanismo, centro de publicaciones. Madrid.

Solbes, J.y García, A. (1996): *Estudio acústico de dos centros de E.S.O.* Revista de acústica. N° 27. Pag.32-36. Valencia.

Norma Básica Nbe-ca-88 sobre condiciones acústicas en los edificios. (BOE 7/9/81, 3/9/82 , 7/10/82 y 8/10/88).