

**ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS FACTORES QUE  
INTERVIENEN EN LA ACÚSTICA DE SALAS DE USO DOCENTE  
EN RELACIÓN CON LA PROBLEMÁTICA PARTICULAR DE LA  
POBLACIÓN CON DISCAPACIDADES AUDITIVAS EN  
DIFERENTES GRADOS**

por

**Antonio Durá Doménech**

Doctor en Ciencias Físicas, Catedrático EU de Física Aplicada

**Jenaro Vera Guarinos**

Doctor en Ciencias Físicas, Catedrático EU de Física Aplicada

**Marisol Yebra Calleja**

Licenciada en Ciencias Físicas, Titular EU de Física Aplicada

*Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal*  
Escuela Politécnica Superior, UNIVERSIDAD DE ALICANTE  
Carretera S. Vicente del Raspeig, s/n 03080 ALICANTE

Alicante, diciembre 2002

**PHONAK**

soluciones auditivas

programa infantil

El presente trabajo, titulado *Análisis y valoración de los factores que intervienen en la acústica de salas de uso docente en relación con la problemática particular de la población con discapacidades auditivas en diferentes grados*, ha sido realizado bajo contrato de la empresa PHONAK-LAEM con la Universidad de Alicante, siendo sus autores los Profesores del Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal Antonio Durá Doménech, Jenaro Vera Guarinos y Marisol Yebra Calleja.

Los datos utilizados en este documento son de dominio público, siendo el análisis y valoración de los mismos responsabilidad de los autores, así como cualquier otra opinión científica que se manifieste a lo largo del documento.

El objetivo último de este trabajo es el de mostrar de una manera clara y fehaciente que las condiciones acústicas de las aulas de enseñanza no son las más idóneas para facilitar el uso a que están destinadas, y eso para cualquier tipo de alumno que no presente ningún tipo de discapacidad auditiva. Por tanto, los alumnos que sí poseen este tipo de discapacidad, sufren una doble discriminación: la derivada de su propia deficiencia auditiva, y la añadida por unas condiciones del aula que dificulta el proceso de su aprendizaje, necesitado específicamente de ayudas externas, cuya efectividad es minorada por la inadecuación acústica de la sala.

Es deseo de los autores que el presente trabajo pueda servir como base argumentativa ante las administraciones públicas para que se adopten las medidas necesarias (legislativas, normativas, etc) para que las condiciones acústicas de las aulas sean las adecuadas a su uso, lo cual irá a favor no sólo del alumno normoyente sino también de aquellos otros con cualquier grado de discapacitación acústica.

En Alicante, a 27 de diciembre de 2002.

Antonio Durá Doménech

Jenaro Vera Guarinos

Marisol Yebra Calleja

## RESUMEN

El presente informe se ha dividido en seis partes, junto con una bibliografía final.

En la primera se hacen unas consideraciones generales sobre las aulas y la acústica de las mismas, así como de la influencia de esa acústica en los procesos de aprendizaje que tienen lugar en este recinto.

En la segunda parte se hace un repaso histórico del concepto de aula, señalando en cada caso las acciones efectuadas que tuvieran una motivación en la mejora de las condiciones generales de la misma (iluminación, aireación, etc), y, en su caso, de las acústicas.

En la tercera parte se plantean las condiciones acústicas que deben poseer las aulas, de acuerdo con el uso a que están destinadas.

En la cuarta parte se hace una revisión de las Normativas que regulan la acústica de las aulas, tanto en España como en otros países. También se han tenido en cuenta los proyectos de reforma de esas normativas que, en plazo breve, van a tener plena vigencia legal, aunque sus efectos tardarán en manifestarse, dada la inercia lógica del proceso constructivo.

En la quinta parte se hace un recorrido representativo de las condiciones reales de las aulas a través de los distintos estudios experimentales que se han hecho, tanto en España como en otros países. Las medidas indican, sin ninguna duda, que las condiciones reales de las aulas en el aspecto acústico están lejos de las condiciones deseables de que se ha hablado en la parte 3, ya que la mayor parte de los parámetros medidos están lejos de los valores deseables.

En la sexta parte se ha intentado hacer un resumen de las ideas barajadas a lo largo del informe, plasmándolas en una serie de propuestas sencillas sobre cómo debería ser el aula, desde el punto de vista acústico.

Por último, se presenta una base bibliográfica no exhaustiva sobre todos los conceptos expresados en el presente trabajo.

## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> . . . . .	1
1.1 Objetivos de este informe . . . . .	2
1.2 El edificio escolar y el aula de enseñanza . . . . .	3
1.3 El aula como recinto acústico especializado y su influencia en la formación de los alumnos . . . . .	4
1.4 Objetivos de la acústica escolar . . . . .	7
<b>2. Evolución histórica de la acústica aplicada a las aulas de enseñanza</b> . . . . .	9
2.1 La escuela occidental en los siglos XIX y XX . . . . .	10
2.2 Los programas de construcciones escolares en España desde mediados del siglo XIX hasta la finalización de la Guerra Civil . . . . .	15
2.3 La escuela en España desde el final de la Guerra Civil hasta nuestros días . . . . .	18
<b>3. Acústica del aula</b> . . . . .	21
3.1 La acústica y su inclusión en los proyectos de centros escolares . . . . .	24
3.2 Criterios generales para el aislamiento y acondicionamiento acústicos de aulas . . . . .	24
3.3 Acondicionamiento acústico del aula . . . . .	25
3.4 Aislamiento acústico . . . . .	26
3.4.1 Enmascaramiento del mensaje hablado . . . . .	26
3.4.2 Privacidad o intromisión de mensajes en nuestro propio entorno . . . . .	28

<b>4. Normativas legales que regulan la acústica de aulas . . . . .</b>	<b>29</b>
4.1 Legislación española sobre acústica de aulas . . . . .	30
4.2 Legislación sobre acústica de aulas en otros países . . . . .	35
4.3 Valoración conjunta de las normativas . . . . .	41
<b>5. Condiciones acústicas experimentales de las aulas de enseñanza . . . . .</b>	<b>42</b>
5.1 Introducción . . . . .	43
5.2 Resultados de trabajos realizados en España. . . . .	44
5.2.1 Obtenidos a partir de la bibliografía . . . . .	44
5.2.2 Medidas del Grupo de Acústica Aplicada del Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal de la Universidad de Alicante. . . . .	46
5.2.3 Resultados de medidas realizadas en otros países . . . . .	48
5.3 Conclusiones conjuntas de las medidas experimentales. . . . .	52
<b>6. Resumen final : Conclusiones, valoraciones y propuestas . . . . .</b>	<b>54</b>
6.1 Ubicación, entorno sonoro, ruido ambiente exterior , , , , , , , ,	55
6.2 Factores geométricos del aula . . . . .	56
6.3 Factores relacionados con el aislamiento acústico . . . . .	59
6.4 Factores relativos al acondicionamiento acústico del aula . . . . .	60
<b>BIBLOGRAFÍA. . . . .</b>	<b>61</b>

## 1. Introducción

## 1.1 Objetivos de este informe

En la base de todo desarrollo intelectual de grado superior, entra en juego ineludiblemente la palabra, tanto en su comprensión como en su producción. Cualquier desorden del lenguaje se puede achacar, en la mayoría de los casos, a una deficiencia anatómico-fisiológica del individuo o a una dificultad en la percepción neurosensorial del mensaje hablado, y en última instancia aparece la responsabilidad del entorno medioambiental. Pero este último factor adquiere mayor relevancia cuanto más alto sea el grado de deficiencia auditiva que tenga un cierto segmento de población.

Con la adopción de acciones correctivas en el campo sonoro medioambiental no se pretende que dichas discapacidades disminuyan en grado, pues en la mayoría de los casos se pueden considerar no sólo irreversibles, si no más bien progresivas. Lo que se quiere evidenciar en este estudio es la posibilidad de encontrar qué parámetros acústicos, característicos de los recintos habitados donde se utiliza el mensaje hablado, gobiernan el grado de inteligibilidad del mismo y qué valores se les debe exigir para que la recepción del mensaje hablado sea de la mejor calidad posible. Con ello, se pretende que la merma en la inteligibilidad que sufre una persona debida a causas fisiológicas propias, no se vea agravada por la deficiente acústica de su entorno.

Se quiere asegurar de este modo que el niño sordo, o simplemente “duro de oído”, disponga del 100% de posibilidades de hacer frente a su entorno sonoro de forma razonablemente equitativa con los normoyentes y facilitar al máximo su integración, puesto que si se consigue que el espacio arquitectónico sea potencialmente ideal para la comunicación, podrá fluir de forma natural el proceso de aprendizaje, realimentando a su vez la comunicación, con lo que se facilita el desarrollo personal y social de cada individuo en la medida de sus capacidades particulares.

Los métodos que existen para intentar mejorar la audición de las personas con distintos grados de discapacidad auditiva, descartando el implante coclear como solución generalizada por diversas razones, se basan principalmente en lograr que la señal llegue amplificada a la cóclea, para así aprovechar lo que se puede denominar audición residual, métodos que en ningún caso consiguen llegar al 100% de lo que es la capacidad auditiva media de la población normoyente. Entre estos métodos, se pueden destacar los éxitos obtenidos con la utilización de emisores-receptores de FM, ya que aseguran una recepción directa del mensaje sonoro, al estar el micrófono cerca de la boca del locutor, sea cual sea la posición relativa hablante-oyente. El principal inconveniente de este método es que el locutor debe llevar siempre puesto el dispositivo emisor, lo que no siempre es factible, y además no facilita la interrelación, la integración social, con el resto de compañeros, aunque si se consigue que se inicie el proceso de aprendizaje, que no es poco. Por ello, y desde nuestro punto de vista, estas dependencias limitan su éxito.

En resumen, la intención de este informe es encontrar qué condiciones se deben de dar en el entorno de las personas con discapacidades auditivas, para que los aparatos de amplificación personal (audífonos comunes, sistemas FM), sean efectivos en el mayor grado deseable. Para ello, el efecto del recinto donde tiene lugar la comunicación, debe ser, como mínimo neutro, y conseguir además que en el mayor número de casos mejore la inteligibilidad, y que bajo ningún concepto la acústica de una sala vaya en detrimento de la producción y recepción de los mensajes hablados. Ello significa, yendo al fondo de la cuestión, que todas las aulas de un colegio cualquiera estuvieran proyectadas y construidas de manera que cada uno de esos recintos tuviera, acústicamente, una “inteligibilidad” lo más próxima posible al 100%.

## 1.2 El edificio escolar y el aula de enseñanza

Puede ser interesante, antes de centrar el tema objeto del informe, describir, desde un punto de vista general, el marco donde se desenvuelven las actividades docentes, es decir los edificios escolares, las aulas y su entorno, que representan, desde un punto de vista social, el lugar donde discurre el 50% del tiempo de vigilia de cualquier niño, desde los dos o tres años hasta los 18, como mínimo.

Se puede decir que el aprendizaje es un proceso compartido en partes iguales por la familia y la escuela. Pero en el entorno familiar las intervenciones que se pueden plantear son difíciles de aplicar en la práctica, mientras que en la escuela sí que existe una responsabilidad ineludible de las administraciones implicadas y de la sociedad desde todos sus estamentos, para que en dicho entorno se den las condiciones óptimas para que el proceso de enseñanza-aprendizaje se produzca de forma satisfactoria para todos los ciudadanos, sin discriminación posible (edad, sexo, religión y mucho menos por su capacidad auditiva). El Estado e Instituciones poseen, en su corpus legal, una serie de leyes y disposiciones que, al menos en espíritu, suscriben lo dicho, aunque en la práctica no tengan una traducción tangible, tal como se verá más adelante.

De hecho, y hasta fechas muy recientes, no ha existido ninguna Ley o Norma que regule *explícitamente*, de forma particular y razonada, las condiciones acústicas (Aislamiento y Acondicionamiento) de la edificación escolar, aún ni para la población normoyente, así que queda fuera de cuestión el que hubiera una línea de pensamiento que tuviera en cuenta las necesidades de la población auditivamente discapacitada [VERA97].

Quizás de todos los posibles problemas, dificultades, impedimentos, molestias o contaminaciones que podemos encontrar en nuestro entorno vital, en su sentido más amplio, los que tienen su origen en los fenómenos acústicos son los que menos preocupación o temor suscitan en la generalidad de los humanos, ya sea por su sutileza, su aparente falta de morbilidad, ya sea porque sus efectos están desplazados en el tiempo o porque aunque produzcan efectos irreversibles, por una parte su incidencia es escasa en número o bien aparecen simultáneamente con otras enfermedades de mayor envergadura; o tal vez la falta de información o de formación de una sociedad que rinde culto al ruido en cierta manera. Sociedad que no tiene resueltos problemas de primera necesidad todavía, como puede ser el acceso a una vivienda de calidad o la existencia de



suficientes plazas escolares en los centros educativos para que el ratio sea el adecuado, y entonces el que una vivienda o un aula tenga deficiencias acústicas es un problema que pasa a un segundo plano. Aunque no se olvide que la acústica, en ese sentido, es paciente, ya que siempre estará esperándonos.

Pero la respuesta a este problema debe tener en cuenta la reflexión siguiente: todos y cada uno de los recintos y edificaciones que se erigen tienen un **uso** principal previsto en el proyecto, el cual debe condicionar su diseño como criterio primordial, dejando como secundario otros aspectos del edificio. Por lo que si se construye un centro escolar, en el se va a desarrollar una labor docente, que se apoya en la transmisión de mensajes verbales, es por lo tanto incuestionable que esta función se debe poder realizar de forma óptima. Mas tarde, el proyectista ya puede preguntarse para cuántos alumnos se construye, con qué servicios y para desarrollar qué tipo de pedagogía, etc. Después de que lo anterior esté claro, es cuando procede encargar su construcción, la cual debe cumplir las premisas anteriores.

Si además, se tiene en cuenta que los alumnos puede que no sean o que no se les pueda considerar en todo momento normoyentes, entonces el problema es mucho más serio, puesto que a una población con audición normal se le puede suponer cierta capacidad añadida de sobrentender las lagunas que pueda haber en la recepción de un mensaje, situar el contexto de la oración, poseer hábitos cognitivos de síntesis, estrategias de comprensión,...que pueden darse si el individuo posee todas sus capacidades intelectivas al completo, y no se encuentra cansado por sobrecarga intelectual. Pero cuando esto no es así, ya que se dispone de suficiente información desde hace tiempo [NOIS81] [SUTE91] para afirmar que el número de personas con discapacidades auditivas es bastante elevado [ROSS02] [KORB02] [QUEV02] [SEBA00], y que en porcentajes significativos ( 15 % ) en los niños y adolescentes en edad escolar se detectan pérdidas auditivas de, al mínimo, 16 dB [HEPP02]. Se puede afirmar que el porcentaje de personas con discapacitación acústica en Europa (el 10 % del total de la población en cada país) conforman la minoría mayoritaria entre todas las discapacitaciones [LIET]. Si además se pretende la integración de los alumnos con discapacidad auditiva permanente, entonces el anterior cuidado que se le pedía al proyectista de un recinto de enseñanza, debe ser extremado, para que las condiciones acústicas sean de la mayor calidad posible, para no entorpecer en ningún caso y bajo ningún concepto la recepción de la palabra a nivel de 'oído externo', para que así, cuando aparezcan las dificultades en el oído medio e interno, o a nivel de transducción neuronal, sea ese el lugar donde podamos actuar a nivel de una amplificación de la señal o una actuación en el terreno fisiológico.

### **1.3 El aula como recinto acústico especializado y su influencia en la formación de los alumnos**

Lo que ocurre en el aula a diario es la transmisión de un mensaje, en su mayor parte verbal, un acto acústico continuado de dirección múltiple alumno-profesor, alumno-alumno. Si este mensaje sufre distorsiones en su canalización, no podrá ser correctamente interpretado por el receptor, perdiendo, entonces, todo el sentido que pueda tener la existencia del aula como lugar propicio para la comunicación, ya que el aula en si, aparte de continente, es también, primordialmente, canal de transmisión.

El modo en que el aula distorsiona o enmascara el mensaje lo puede efectuar de dos maneras:

1ª) Multiplicando y desfasando temporalmente la información emitida, originado por una reverberación elevada.

2ª) Mezclando la información principal con otras de tipo secundario/casual, debido a la presencia de ruido de fondo, cuyo origen reside en un aislamiento acústico insuficiente.

Así, el problema acústico que se plantea en el aula se puede reducir conceptualmente a dos campos: uno, en el aislamiento y otro, en el acondicionamiento.

La existencia de buenos aislamientos acústicos a ruido aéreo y a ruido de impacto, es necesaria para que exista un grado suficiente de confort tal, que las actividades que se desarrollan en un recinto cerrado no sufran interferencias ajenas a su propia naturaleza, tanto del exterior del edificio como de recintos contiguos, en donde a su vez la misma actividad que se quiere proteger es, a su vez, fuente de molestias para otros.

Un mal aislamiento facilita la inmisión de ruidos desde espacios ajenos al aula en cuestión, lo que se traduce en un ruido de fondo que se superpone al mensaje emitido y lo enmascara. También puede introducir mensajes extraños entre las pausas del nuestro, o perturbar la normal tranquilidad del aula cuando se realizan trabajos personales.

Por tanto, un buen **aislamiento acústico** evitará, por una parte, *que los mensajes o ruidos, provenientes del exterior del aula, no tengan un nivel suficiente como para enmascarar lo que se está hablando en el interior.* Y por otra, en el caso de situaciones que requieran tranquilidad acústica, o que se haya producido alguna pausa natural en el discurso de un mensaje hablado, *el aislamiento debe ser suficiente como para que lo exterior no sea inteligible en el caso de la palabra, ni suficiente elevado si es un ruido, de tal forma que ni distraiga ni fatigue a los que realizan las actividades que se estén desarrollando, sean del tipo que sean.*

Un adecuado **acondicionamiento acústico** consiste en dotar a un recinto de ciertas características, de modo que cumpla la misión para la que está pensado de la forma más satisfactoria posible. Es quizás una cuestión mucho más subjetiva que la anterior, puesto que la molestia que ocasiona un mal acondicionamiento es parte del propio mensaje emitido.

Un mal acondicionamiento hace que un mensaje sufra distorsiones a lo largo del canal de transmisión y sea difícil discernir su significado. Esto es lo que en esencia hace la reverberación cuando es elevada, puesto que al receptor no sólo le llega el mensaje directo, sino que además y en función de ésta le llegan N mensajes reflejados que se superponen al primero, con efectos, a veces, indeseados.

Por lo tanto, *el acondicionamiento acústico consiste principalmente en controlar cuál debe de ser el tiempo de reverberación adecuado para una máxima inteligibilidad*

*de la palabra, y también analizar la forma de las aulas para una mejor uniformidad en la recepción, aunque este último aspecto sea secundario cuando el volumen de las mismas es menor de 500 m<sup>3</sup>, como es el caso de las aulas de enseñanza en las enseñanzas primaria y secundaria.*

Los conceptos aislamiento y acondicionamiento acústicos son distintos y por supuesto, aunque no evidente para muchas personas, complementarios. Esto lleva a que es muy difícil evaluarlos independientemente, por lo que lo primero habrá que plantear es el grado de inteligibilidad de palabra deseado, para luego ir paso a paso determinando las condiciones de aislamiento que se le debe exigir a los cerramientos y cual debe de ser la reverberación adecuada para conseguir ese grado de inteligibilidad.

Puesto que en este estudio se analizan aulas de enseñanza, donde lo más importante es la comunicación verbal, se puede decir que la inteligibilidad debe ser cuanto mas alta, mejor.

Por último, relacionado con el aislamiento está la cuestión de la privacidad, ya que de lo que se trata es de prever bajo qué condiciones los ruidos o mensajes intrusos no sean inteligibles y así ni fatiguen, ni molesten, ni distraigan. Resumiendo, lo que se busca es que los mensajes que se hayan emitido en otros espacios circundantes, no sean inteligibles en el aula, aunque esta cuestión tiene menor incidencia cuando se trata de alumnos con discapacidad auditiva, los cuales tienen, por definición, un umbral de sensación sonora mayor que el resto de sus compañeros.

Existe una relación entre las distintas etapas por las que pasa la madurez intelectual de los alumnos en su vida escolar y la importancia de unas buenas condiciones acústicas en las aulas. Simplificando, se pueden considerar al menos tres grandes etapas, que corresponden a los primeros tiempos de la escolarización, y que son las siguientes:

#### **a) Etapa de 0 a 2 años**

En esta etapa es cuando se aprenden los rudimentos del lenguaje, los fonemas. Para que esto se lleve a cabo de forma satisfactoria, la emisión y recepción debe ser perfecta, ausente de distorsiones. Por ello el mensaje debe cumplir las dos condiciones siguientes:

- Llegar con suficiente relación Señal / ruido.
- No sufrir alteraciones en su composición espectral.

#### **b) Etapa de 2 a 5 años**

En este periodo se comienza a estructurar el lenguaje hablado, y se adquieren los primeros rudimentos del lenguaje escrito. Se puede decir que las premisas acústicas en esta etapa son análogas a las de la anterior, con el agravante de que en esta etapa sólo se puede desarrollar a plena satisfacción, si se ha superado con éxito razonable la primera.

### c) Etapa de 5 años en adelante

Aquí los procesos intelectuales, a nivel de aprendizaje, ya los podemos considerar que no son básicos o elementales, ya que tienen una dimensión más amplia. Se afianza la interrelación y los conocimientos deductivos hacen su aparición de forma distintiva. Se ponen las bases del lenguaje matemático, lógico y descriptivo, que se podrán desarrollar más tarde. En este periodo las necesidades de comprensión oral van dirigidas tanto al afianzamiento de los propios recursos de expresión y comunicación social, como a la adquisición de nuevos conocimientos. Se vertebran las bases de futuro en la consecución de la madurez del individuo. Por ello, si no se dan las condiciones acústicas óptimas, todo este proceso de formación socio-intelectual quedará invalidado.

## 1.4 Objetivos de la acústica escolar

En el apartado anterior se estaba hablando, en general, de la población normoyente, por lo que en cuanto se tenga en cuenta esa otra fracción donde existe cualquier deficiencia auditiva, la problemática se amplifica de forma alarmante, y ni aún dándose las condiciones acústicas óptimas se puede asegurar que el aprovechamiento, por parte de este tipo de alumnado, sea el deseable.

Por ello, es evidente que cualquier establecimiento escolar, donde el mensaje hablado es la herramienta principal, se debe conseguir que las condiciones arquitectónicas de las aulas sean tales que:

- A1) Protejan de los ruidos intrusivos.
- B1) Amplifiquen y distribuyan equilibradamente la energía sonora del mensaje sonoro emitido.
- C1) No alteren la composición espectral del mensaje emitido original.
- D1) No introduzcan reflexiones inadecuadas con paredes, suelo y techo, que interfieran con el mensaje original.

En resumen, que se creen lugares que inviten y favorezcan la conversación.

En cambio lo que se encuentra habitualmente es:

- A2) Distribuidores, pasillos y zaguanes con gran reverberación, lo que origina un entorno del aula extremadamente ruidoso.
- B2) Aulas no acondicionadas; que distorsionan e interfieren el mensaje hablado; con ruidos internos molestos; con presencia de ecos; faltas de balance acústico y llenas de puntos negros.

C2) Un entorno exterior medioambiental inadecuado, con calles y carreteras cerca de las aulas, por las que circula un tráfico denso y ruidoso, con industrias próximas, etc. lo que origina un ruido de fondo incontrolado y molesto.

D2) Serias deficiencias en el aislamiento de los cerramientos, tanto interiores como exteriores, lo que conlleva una sensación de desprotección e intemperie.

Todo ello, produce unas consecuencias que, en líneas generales, suelen ser:

A3) Baja inteligibilidad; cansancio físico y psíquico, por la sobrecarga intelectual debida al ruido de fondo.

B3) Molestias debidas a la intrusión de ruido.

C3) Falta de privacidad: aumento de la distracción.

D3) Deficiente aprendizaje.

E3) Falta de interés ante el proceso de aprendizaje.

Y en particular para los niños sordos o duros de oído, se pueden añadir estas otras consecuencias:

A4) Falta de adaptación social.

B4) Dificultad para superar las barreras de la relación social.

C4) Ausencia de aprendizaje.

## **2. Evolución histórica de la acústica aplicada a las aulas de enseñanza**

En el presente apartado se hará un repaso histórico de la evolución de las aulas de enseñanza en sus aspectos conceptuales y constructivos, señalando en su caso si dentro de estos aspectos se han tenido en cuenta las condiciones acústicas que debería poseer este tipo de recintos. Lo que se presenta a continuación es un resumen de un estudio más amplio, realizado por uno de los autores en el contexto de su Tesis Doctoral [VERA97].

Aunque conceptualmente el término *escuela*, al igual que el de *educación*, no puedan tener un sentido único en el devenir histórico, puede observarse que sus diversas acepciones son el reflejo del nivel de desarrollo de una Sociedad y un claro indicador del estado de salud de la misma.

La educación, entendida como transmisión de pautas de conducta y aprendizaje de códigos de información, es algo inherente a toda sociedad y más en el hombre, que posee la capacidad de discernir, elegir y transformar el mensaje recibido para su uso instrumental posterior.

Sin embargo, la escuela no surge hasta que el grado de desarrollo, de dicha sociedad, es tal que una parte de ella, significativamente muy pequeña, necesita perpetuar ciertos conocimientos o habilidades, que de alguna manera le servirán para mantener un status superior respecto al resto.

## **2.1 La escuela occidental en los siglos XIX y XX**

Con suficiente aproximación se puede afirmar que el siglo XIX es el que ve el nacimiento de la *escuela* como edificio, tal como hoy se concibe: esto es, un espacio arquitectónico no adaptado, si no creado específicamente para cumplir unos fines educativos.

Los gobiernos de las naciones europeas propugnan la instrucción popular y como consecuencia de ello florecen las iniciativas disciplinares y la organización de cursos escolásticos, sobre todo en las ciudades pre-industriales, que con la inmigración de sus entornos rurales, ven crecer las preocupaciones de índole social, característica principal de este siglo.

La cristalización de las ideas propugnadas por diferentes reformadores sociales da lugar a la construcción de nuevas escuelas, aunque en un principio su arquitectura, sobre todo en las grandes ciudades, no distaba mucho del antiguo concepto eclesial, en cuanto al aspecto exterior y la distribución de espacios. Fundamentalmente constaban de una gran sala, en su interior, donde se colocaban los alumnos sin distinción de sexo ni edad, y la instrucción se impartía por un maestro y algún ayudante joven o alumno aventajado, si el grupo era muy numeroso. Cuando la cantidad de alumnos era excesiva para mantener la disciplina, se pensó en ir añadiendo nuevas salas,

de menor tamaño (aulas), alrededor del espacio central original y separadas de éste mediante cortinas o puertas correderas. He aquí los primeros esbozos de lo que será después la típica construcción escolar, con una amplia galería central iluminada centralmente, rodeada de espacios cerrados (aulas), una para cada grupo de alumnos [CAST74].

En sus etapas incipientes, la arquitectura escolar era más o menos una adaptación de otras formas de arquitectura sin que se prestara especial atención a las necesidades de la enseñanza. El diseño de edificios para escuelas adolecía de una preocupación pedagógica, o más bien faltaba la definición clara de lo que debía ser una escuela.

Los arquitectos se limitaban a enfatizar la forma y el estilo, olvidándose de sus aspectos funcionales, lo que dio lugar a escuelas descomunales, con enormes corredores, imponentes vestíbulos, grandiosas columnas e inútiles parapetos. O a grandes cajas de ladrillo rojo, cubiertas por un techo inclinado, y subdivididas interiormente en cubículos más pequeños, que se llamaban aulas.

Esta situación no fue únicamente debida al eclecticismo arquitectónico de la época, si no también en gran medida a la falta de definición, por parte de las autoridades, de conceptos pedagógicos y urbanísticos objetivos con un plan de estudios basado en aquellos.

El hecho de que los edificios escolares se convirtieran en una preocupación del gobierno, junto con la falta de colaboración entre el arquitecto, los maestros y la administración, sirvió para que su evolución fuese equivocada desde el principio. Como señala Roth “...*ni los arquitectos, ni los maestros, ni las autoridades educativas tenían una comprensión clara de las tareas educativas que debían ejercer...*” [ROTH57].

Pero quizás por estos errores manifiestos, a partir de la segunda mitad del siglo XIX es la arquitectura norteamericana la que enarbola la bandera de la renovación arquitectónica, y en las postrimerías del siglo Louis Sullivan enunció un principio fundamental de la arquitectura moderna: *form follows function*. Esta nueva actitud de los arquitectos, junto con una planificación de las escuelas por barrio, una separación por grados en distintos edificios y una buena disposición administrativa, dan como fruto la construcción de escuelas que ya no parecen palacios, y que están exentas de reminiscencias y semejanzas con la arquitectura del pasado. Son una escuela conformada como tal, su definición. Por el contrario, en Europa la aparición de un edificio-escuela diseñado como tal, no se conseguirá, si no con gran reticencia, en torno al año 1925.

Con todo, la planificación escolar americana se vio abocada al fracaso por el crecimiento desenfrenado y caótico al que estaban sometidas las ciudades, que llegaba a limitar el espacio escolar, rodeándolo de edificios y calles ruidosas, puesto que no se tenía prevista una zona circundante donde ubicar las áreas de recreo y deporte al aire libre, por lo que se tenía que hacer uso de los patios centrales, si los hubiera, y/o de las terrazas de la azotea.

La situación inglesa fue similar a la estadounidense en las grandes ciudades, donde las escuelas adolecían de una preocupación por las condiciones higiénicas, en



particular de la iluminación. En estos casos el fracaso se debe a un desinterés o falta de planificación general, debido quizás a que las inquietudes de la sociedad inglesa y americana estaban más centradas en la idea de la escuela como centro social de convivencia y no en un aspecto más formal como el de los alemanes, que son los precursores de la racionalización y ordenación extrema del espacio y del alumnado. Esta discrepancia es fácil de comprender si se reflexiona sobre los puntos de partida de cada uno:

a) Los ingleses derivan de una cierta concepción de iglesia (no católica).

b) Los americanos de un collage muy particular de características variopintas: un poco de templo ecuménico, un poco casa del pueblo, un poco sala de celebraciones.

c) Mientras que los alemanes parten de una idea exterior ornamental, semejante a la de los edificios religiosos, y una concepción interior ordenada y adusta como la de los acuartelamientos.

En este mismo siglo XIX, Francia, España e Italia, países eminentemente católicos, no terminan de despegarse de los modelos religiosos, puesto que el Estado, aunque consciente de su responsabilidad, no es capaz de hacer efectivo ninguno de los tímidos planes educativos nacionales que se propugnan en estos países.

Hay que reconocer que la situación de principios de siglo, es deprimente, ya que las escuelas están ubicadas en lugares cualesquiera, como cobertizos, sacristías, granjas o a lo más en una pequeña construcción de planta baja con techo de teja con una cocina, la habitación del maestro y un aula, como se reconoce en algún decreto oficial de la época [CHAS93] [VIÑA93].

Ni que decir tiene que tanto este decreto, como anteriormente la ley Moyano en España (1857), la ley Guizot en Francia (1833) y tantas otras, sólo tuvieron un valor puramente testimonial, una toma de postura que ayudó a producir la convergencia, a finales de siglo, de las demandas reales del pueblo llano con las teorías pedagógicas de la época y, por supuesto, con el compromiso real de la Hacienda pública.

Habría que resaltar también las controversias en cuanto al modelo arquitectónico aplicado en las construcciones escolares, en aquellos lugares que llegaron a realizarse. Las dos cuestiones principales planteadas fueron: por un lado una muy discutible necesidad de organización de orden interno, que propugna la separación de sexos, dividiendo rígidamente el edificio en dos partes bien diferenciadas. Y por otra las teorías higienistas, en donde la distribución del espacio queda en función del número de alumnos por superficie construida, el volumen de aire disponible por alumno, el problema de la iluminación del aula, los corredores, el diseño de los pupitres, etc...

Como se puede constatar, dichos problemas indican ya la existencia de la escuela como un ente arquitectónico específico, y es esto lo que, de una manera u otra, va a hacer que ésta evolucione, aunque quizás muchos de estos problemas todavía no estén resueltos en la actualidad.

En líneas generales, la arquitectura escolar evoluciona a la par de los avances urbanísticos de cada país y de su estabilidad política.

Como sinopsis final del siglo XIX se podría decir que las cuestiones de higiene, marcaron, sin obligar, un determinado estilo: se tiende a escuelas con corredores de distribución con una sola fila de aulas, con lo que se tiene la posibilidad de elegir la mejor orientación posible; buenas condiciones de soleamiento, y por tanto una buena iluminación en aulas y pasillos, aunque con el precio a pagar de unos mayores costes en la construcción. Otra tendencia es la desaparición gradual de la gran sala de central de entrada (**hall**), que algunas veces se convierte en gimnasio, aunque éste se tiende a ubicarlo en un lugar distinto y diferenciado. Como se verá, la existencia o no de hall queda con el tiempo en una opción estética, una manera clásica de resolver la necesidad de un punto de encuentro, una zona de preámbulo, ... En resumen, este es un siglo de transición, de despertares, de revolución social, de luces y sombras en donde se nos deja adivinar con esperanza lo que va a ser nuestra historia actual.

A grandes rasgos, el siglo XX recoge y desarrolla, en el ámbito de la arquitectura escolar, las pretensiones del precedente, con marcadas diferencias en cuanto al estilo de actuación, puesto que tanto en cuestiones ideológicas, como políticas y sociales, es una época muy particular en el mundo occidental

Los estados acometen planes nacionales de educación, las comunicaciones se hacen cada vez más rápidas y efectivas, lo que da lugar a intercambios culturales muy frecuentes, y la ciencia y la tecnología se convierten, poco a poco, en elementos reales de hegemonía industrial y de dominación política. Y esto hace necesario, de alguna forma, que la educación en Occidente pase a un primer plano, en cuanto que se necesita disponer de “mano de obra” intelectual con gran premura.

Es necesario remarcar, que lo que se pueda decir sobre la escuela se refiere a ésta en cuanto a insertada en el entorno urbano, dejando de lado lo que ocurre con las zonas rurales, que con los efectos de la creciente industrialización se tendrán olvidadas hasta días muy cercanos en la mayoría de los países, salvo en Francia donde el carácter marcadamente burgués de dichas zonas y con una economía relativamente equilibrada las hacia diferentes a las de otros países.

La arquitectura escolar, a principios del siglo XX, se encuentra en un momento crítico. El reconocimiento definitivo por los Estados del hecho escolar, crea en sí mismo un compromiso que obliga a la acción inmediata de construir. Pero las ciudades crecen bajo ópticas urbanísticas alejadas de las necesidades de las escuelas y su entorno, salvo en los casos apuntados anteriormente; el pensamiento pedagógico no está unificado, ni parece lo estará nunca; las corrientes arquitectónicas son dispares, y por sí solos, los arquitectos no pueden solucionar un problema que ni siquiera está definido.

Pero, por otro lado, nos encontramos con el resurgir de una filosofía pedagógica avanzada como es la de Maria Montessori [MONT09], que es una reelaboración de las ideas de Rousseau y Pestalozzi, y donde se recuerda que el papel del maestro es el de educador, no un simple transmisor de conocimientos, cuestión en la que aún hoy en día se incide repetidamente. Tuvo gran influencia y fue de vital importancia su contribución en los preceptos pedagógicos oficiales [CICC75].

En estos, se propugna a que se tienda a escuelas abiertas en contacto con el exterior, y que este exterior sea un espacio natural, parques, jardines, ... Pero para ello

hace falta primero que estos jardines existan de por sí dentro de la ciudad o que se tengan programados. De hecho ese fue uno de los grandes fracasos al principio, ya que los intereses económicos en la especulación del suelo siempre ha sido una de las mayores trampas en la que se ha visto envuelta la construcción de interés social.

Otro problema, que debió afrontar esta visión pedagógica, es la falta de seriedad, o por decirlo de otra manera, la distancia económica que existe entre el proyecto político (declaración de intenciones) y su desarrollo posterior. La partida presupuestaria que exige la puesta en marcha y mantenimiento de un modelo educativo coherente, la mayoría de las veces es el talón de Aquiles de dicho proyecto.

En fin, tras la primera guerra mundial la situación es desconcertante y donde cada país, en función de su economía va a emprender la aventura educativa con mayores o menores logros.

En Alemania surgen movimientos reformadores en la arquitectura, como la *Neues Bauen*, o la *Bauhaus*, que destierran definitivamente el modelo escuela-convento o escuela-cuartel, apostando por un racionalismo mucho más social, tomando como base el *Schulhaus* (“casa-escuela”). A este tipo de escuelas se les conoce con el nombre de *Hallenschule*, puesto que las dependencias de la escuela se ubican en torno a un gran vestíbulo (hall) o aula magna que cumple una función pedagógica en tanto que favorece el contacto y la reunión entre todos los alumnos de la escuela, contraponiéndose a la escuela cuartel donde predominaban los corredores o pasillos, como ya se dijo anteriormente. Se puede decir que esta conjunción de la Bauhaus-Montessori, representa en Europa la piedra clave, para interpretar la escuela actual [KERS93].

También se puede decir que, salvo en España, en la década de los 40 se produce en el mundo occidental una arquitectura escolar igualitaria, bajo los siguientes preceptos:

Como ya se apuntaba anteriormente, en las primeras décadas se afianza el distanciamiento de los edificios de tipología cuartelera, macizos y de grandes corredores mal iluminados (influencia alemana). Pero también se tiene cierta tendencia al abandono de la gran sala central superdimensionada, por otra más cercana a una sala de reuniones o aula magna (influencia inglesa). Más tarde, la escuela con grandes problemas en su inserción dentro de la trama urbana, ya sea por la propia aglomeración industrial, por el intrincado trazado medieval de las calles o por el propio fagocitismo de la especulación salvaje del suelo privado, va encontrando poco a poco su sitio y olvida la periferia rural como única posible solución, acomodando la ciudad a su entorno en todo lo posible. La escuela aparece como aglutinante de la vida social y cultural, y los estados la utilizan como signo de progreso y existen intentos, no del todo descabellados, de uso común de bibliotecas o aulas como lugares de actos sociales, de acercar la cultura y su fulgor de alguna manera a todas las clases sociales.

En medio de estos avatares, las teorías científico-higienistas siguen avanzando, la continua preocupación en cuestiones de iluminación y aireación mejoran sensiblemente las condiciones de la vida escolar, y se destierra el hacinamiento que existía en la mayoría de establecimientos escolares. Se mejora el diseño del banco escolar, en la lucha para la prevención de la escoliosis. Pero esta cuestión en particular,

es criticada por los pedagogos más avanzados, en cuanto que el banco es una forma de constreñir los movimientos de los escolares. De igual forma se establece también una corriente en cuanto a la no compartimentación de las aulas, abogando por la libertad de asociacionismo y cooperación entre los estudiantes, con la explícita intención de abolir esa especie de régimen carcelario en el que puede desembocar una interpretación rígida del ambiente escolar en un aula, que confunde la simple atención de los alumnos con la disciplina, y la necesidad de aislamiento en algunas tareas de la enseñanza con el muro conventual.

## **2.2 Los programas de construcciones escolares en España desde mediados del siglo XIX hasta la finalización de la Guerra Civil.**

La primera referencia obligada es la publicación de la Ley Moyano (1857), la cual sirve de modelo a todas las disposiciones posteriores, y aunque parezca sorprendente, se pueden encontrar referencias a ella incluso en disposiciones oficiales de nuestro siglo. Su importancia radica en que es la primera que se interesa en el problema general de la educación y regula todo el sistema educativo [RODR99]. Con anterioridad a esta ley se habían dictado algunas disposiciones relativas a la enseñanza, pero fueron siempre tímidas recomendaciones sobre el deber de ayuda económica a los pueblos, faltos de recursos, por parte del gobierno.

Es evidente que existe la intención de emprender reformas que se reconocen como imprescindibles, pero que nunca se llevarán a cabo en el siglo XIX, hecho que se puede corroborar con la lectura del preámbulo de un Decreto-ley de 1869, en donde la situación descrita sigue teniendo los mismos tintes dramáticos y demuestran claros signos de impotencia en la política presupuestaria de nuestro país. Si bien parecía que, durante la I República, la situación fuera a cambiar, no fue así. De hecho se plantea por primera vez una especie de concurso público de proyectos arquitectónicos para la construcción de escuelas. Se ha de resaltar que la escuela que se idea es una escuela-aula, ya que no existe el planteamiento todavía de escuela-colegio, ni existe el concepto de graduación de la enseñanza. Aún cuando se trate de ubicar varias aulas en un mismo edificio, en ningún momento parece indicarse que éstas corresponderán a distintas clases o grados. Por otra parte, tampoco se define qué forma y qué distribución debe tener el edificio escolar. Sucintamente se cita que, aparte de las salas de clase, debe disponerse de jardín, biblioteca y de la casa-habitación para el maestro.

En 1877 nace la Institución Libre de Enseñanza, bajo cuya influencia se crea, por Real Decreto de 6 de mayo de 1882, el Museo Pedagógico Nacional. La actividad y prestigio de los hombres de la ILE conforma el espíritu que emana de todas las disposiciones en materia educativa, tanto durante el periodo de Restauración, como durante la monarquía de Alfonso XIII, y la II República hasta el estallido de la Guerra Civil de 1936.

La construcción escolar va a estar inmersa en los conceptos higienistas. En primer lugar por que el país necesitaba tomar este camino, debido a la gran mortandad de su población más joven; en segundo lugar, por que no se podía conjugar el deseo de educar con el olvido en el que se desarrollaban estas actividades; y en tercer lugar la influencia que Europa estaba haciendo sobre nosotros, no por que nos obligara de alguna forma, si no porque las personalidades científicas que volvían del exilio traían

consigo esa ambición que en otros países como Francia, o Inglaterra ya hacía tiempo que recogían sus frutos [LAHO92].

Y otro gran detalle a tener en cuenta, fue la asunción por parte de la escuela pública, a partir de 1898, del modelo de enseñanza graduada. Al principio de un modo tímido, por falta de recursos, como ha sido la tónica general, pero el énfasis que los regeneracionistas pusieron en su prosecución está del todo justificado, puesto que ese es hoy, todavía, nuestro modelo. La escuela graduada, en resumen, era algo más que la simple elección de un nuevo modelo, a semejanza con del resto del mundo occidental: era la única solución posible y racional con que afrontar el deterioro educativo que se vivía, y así fue el nacimiento de la escuela contemporánea [VIÑA90].

El aspecto formal de la arquitectura escolar se puede considerar, de manera muy resumida, en dos grandes periodos: desde la ley Moyano (1857) hasta el inicio de la Guerra Civil (1936), y desde la Guerra Civil hasta nuestros días.

En el primero, se puede distinguir una etapa que cubre toda la segunda mitad del siglo XIX, en la que los gobiernos de la Restauración no avanzan mucho en la realización de escuelas, ya que es una etapa continuista en cuanto a laudables deseos y malparada situación económica [ESTE94]. Cabe reseñar la vuelta de las órdenes religiosas al campo educativo y por lo tanto de la enseñanza privada, lo que se favorece de manera extraordinaria, quizás con la esperanza de que solventaran otros, no el Estado, el problema acuciante de falta de escolarización que sufría el país.

Pero es, justamente, en el comienzo de siglo cuando fructifican las ideas de la Institución Libre de Enseñanza y la labor del Museo Pedagógico. Así, el recién estrenado Ministerio de Instrucción Pública emprende la construcción de las primeras escuelas graduadas. Se puede decir que el estilo es regionalista y ecléctico. Se intenta regenerar el espíritu de españolidad con una arquitectura exterior inspirada en modelos del Siglo de Oro español (plateresco-renacentista), y en el interior un diseño no definido, pero que tenía en cuenta los principios higienistas en cuanto a volúmenes, superficies, aireación y luminosidad, pero tanto con influencias de las escuelas corredor alemanas, como con las tendencias a una distribución típicamente panóptica de control. Una evidencia más de ese interés efectivo, es la institucionalización de concursos públicos de proyectos para escuelas graduadas, aunque en ellos siempre está presente el fantasma de la penuria económica. Como detalle anecdótico, en un concurso público se felicitan porque el arquitecto premiado en otra sección de dicho concurso, se ofrece gratis a presentar unos planos de escuelas graduadas en concordancia con el carácter de construcción económica y sólida [DIRE12].

Todo lo dicho anteriormente se refiere a construcción nueva, pero en cuanto al resto, se remodelan las escuelas existentes de forma que se puedan adaptar al nuevo concepto de graduación: moviendo tabiques o creando separadores entre aulas, de modo que se consiga un aislamiento visual entre los distintos grupos, pero de altura suficiente para que el profesor pudiera tener un control directo sobre ellos [NIET90].

Un cuadro descriptivo de la situación tendría un aspecto ambivalente: de un lado, la euforia sin medida y justificada históricamente por los primeros pasos de la escuela graduada, pero, por otro lado, coexiste la herencia del pasado cercano, nada

halagüeña y todavía viva en la mayoría de los pueblos. En resumen, la situación estaba mejorando, pero no era oro todo lo que relucía [LAHO92].

Los tan manidos felices años veinte comienzan, bajo la óptica escolar, con un hecho de vital importancia, la creación de la Oficina Técnica, que parte con los conceptos claros: la graduación de las escuelas es la mejor solución para terminar, de una vez por todas, con los enormes contingentes de niños que hasta ahora acogen las escuelas unitarias; y en el hecho constructivo se aunan, por vez primera, los pedagogos, los médicos higienistas, las autoridades administrativas y los arquitectos. En otras palabras, se introdujo el método de diseño funcional, en el que el proyecto se estructura de dentro hacia fuera.

La construcción escolar recibe un gran impulso con el gobierno de Primo de Rivera. Este buen ritmo continuó y tuvo su punto álgido durante la II República, por supuesto con otro talante intelectual (básicamente arreligioso) y con unas ideas más avanzadas y esperanzadoras en cuanto al sentido global de educación popular. Se puede decir sin temor, que la etapa de actuación de la Oficina Técnica fue una época dorada para la arquitectura de la escuela pública, tanto por la calidad de los edificios como por el número de escuelas que se fueron construyendo en todo el territorio español.

Como es de suponer, la Oficina Técnica, por la que pasaron gran cantidad de arquitectos en sus quince años de vida, generó una colección variada de diseños en cuanto al estilo arquitectónico de cada cual, aunque siempre tuvo un denominador común de afán regeneracionista, en el sentido ya comentado y propiciado por la Dictadura primoriverista. Se les llegó a llamar los hombres del ladrillo y las cornisas, aunque en su seno también existieran algunos con tendencias internacionalistas. Las diferencias de conceptos arquitectónicos se fueron haciendo más marcadas con la proclamación de la II República. La nueva generación de arquitectos, agrupados bajo las siglas GATEPAC (Grupo de Artistas para el Progreso de la Arquitectura Contemporánea), reclamaba la democratización de la estructura de la Oficina, típicamente inmovilista, y denunciaban su falta de adecuación a los nuevos aires de la arquitectura racionalista (Bauhaus), que ya estaba desarrollando con éxito todo el mundo occidental. Cuando se habla de éxito se quiere decir, aparte de la componente relativa a la moda, a la adecuación de los procesos arquitectónicos a nuevos conceptos del diseño en consonancia con las nuevas tecnologías y materiales, e igualmente en relación con los conceptos pedagógicos modernos, que necesitaban también de escuelas renovadas. La situación se hizo insostenible, con una feroz lucha generacional, donde los vanguardistas no tuvieron ocasión de demostrar sus postulados por el nefasto desenlace que tuvo el segundo período republicano español en el verano de 1936.

En el período correspondiente a la Guerra Civil, el gobierno Republicano radicaliza sus posturas educativas durante estos años de guerra, reafirmando sus conceptos democráticos, y aunque lógicamente con otras preocupaciones más inmediatas, continúa la labor de construcciones escolares. Por otro lado, no es hasta el 30 de enero de 1938, cuando Franco forma su primer gobierno, que en primera instancia pone en funcionamiento unas Comisiones de Depuración de todo el personal adscrito a Instrucción Pública, e implanta la nueva escuela nacional por antonomasia: “católica, humana, patriótica y religiosa” [ESTE94]. Ni que decir tiene que desaparecen, o son borradas de un plumazo, la Institución Libre de Enseñanza, la Oficina Técnica, y hasta

el Museo Pedagógico Nacional es reconvertido bajo las nuevas consignas de la Dictadura franquista.

### **2.3 La escuela en España desde la Guerra Civil hasta finales del siglo XX**

El régimen de Franco en sus primeros años, y debido a la penuria económica, sólo hace funcionar los edificios anteriores “que aún quedaban en pie”, por lo que proliferan los locales habilitados. Y es la Iglesia y las órdenes religiosas las que retoman de nuevo el protagonismo y la responsabilidad de la escuela en España. También se prevé la existencia de otro tipo de escuelas, bajo la denominación de Patronatos, de iniciativa privada y además proliferan las “academias” abiertas por profesionales de la enseñanza “no afectos al régimen”, donde se prepara a los alumnos para los exámenes de junio y septiembre en los Institutos.

La construcción escolar sufre un parón, y hay que esperar hasta 1945 para que el legislador salga de su inexplicable letargo y se dicten una serie de Decretos-Ley en los que aún no se concreta un verdadero plan de construcciones, salvo a partir de la Ley de construcciones escolares de 1953. Con todo, los modelos arquitectónicos siguieron siendo los de las escuelas graduadas y unitarias, bajo las Instrucciones Técnico-Higiénicas de 1934.

Entre 1956 y 1970 tiene lugar el inicio del llamado “desarrollo económico”. Son estos años donde se recorren los primeros pasos, si no de cambio político, que no lo hubo, si de una cierta modernización en el talante, propiciado en gran parte por una incipiente recuperación económica. Con el ministerio de Lora Tamayo se consolida el modelo tecnocrático, como camino para iniciar el despegue hacia la modernización, implantando en el sector público criterios y métodos propios de la empresa privada, como la racionalidad y la eficacia.

La extensión del periodo de escolarización obligatoria hasta los catorce años, fue la semilla de la reforma de la enseñanza. Se estaba gestando ya la Ley General de Educación y de la Reforma Educativa de Villar Palasí de 1970, que se puede considerar histórica, aunque sólo fuera por ser, de modo global, la primera ley sustitutoria de la requetenombrada y centenaria Ley Moyano [VISE86]. A partir de su promulgación en 1970, se pueden señalar dos fases: hasta 1973, cuando cesa el ministro Villar Palasí, y desde esta fecha hasta la muerte de Franco, que cierra la extensa y dilatada historia de la dictadura.

Lo que propuso Villar Palasí con esta ley era realmente una revolución, en el contexto que se producía, ya que se superaba el modelo graduado con la adopción de la llamada “Educación personalizada” y las formas de trabajo en equipo (“Team Teaching”).

El programa constructivo se da a conocer el 10 de febrero de 1971, elaborado por la Comisión Coordinadora de Normalización de Construcciones e Instalaciones de Enseñanza, donde aparecen conceptos arquitectónicos novedosos de la edificación escolar, de aplicación tanto para el caso de la Enseñanza General Básica (EGB), como para el Bachillerato Unificado y Polivalente (BUP) [DUAR92].

Se puede decir que esta propuesta ministerial, a todas luces innovadora, no se vio acompañada de un respaldo económico suficiente, ni para la parte arquitectónica como se verá después, ni en el capítulo de personal. Es bien cierto que hasta 1973, en el que el ministro redactor de la Ley abandona su cargo, se construyeron edificios acordes con esta filosofía, pero no se dotó a los centros de número suficiente de profesores y con la adecuada formación para abordar con éxito la situación, así es que se siguió impartiendo enseñanza graduada en edificaciones que no estaban pensadas para ello, lo que en el fondo no hizo sino agravar el problema, cayendo en incompatibilidad de usos de los espacios e infrautilizándolos [ADER77].

Por esta razón, disfrazada de un abaratamiento de costes sin merma de calidad, y por falta de voluntad política de desarrollar la llamada “Ley Villar Palasi”, se dicta un decreto por el nuevo ministro donde no se varía la idea esencial, pero se reagrupan espacios supuestamente inútiles y se recorta de esa forma el gasto. En vez de reconocer las faltas propias; insuficiente financiación para dotar de recursos humanos y materiales necesarios, y falta de voluntad política para desarrollar correctamente el nuevo modelo pedagógico, lo que vino a hacer el nuevo decreto fue, remodelar para la enseñanza graduada clásica, escuelas pensadas para educación activa, personalizada, de opciones múltiples o como se quiera denominar, con lo que las esperanzas de innovación pedagógica quedan aparcadas por ahora.

El panorama arquitectónico escolar de los quince años que transcurren desde 1975 hasta 1990, no sufre en esencia alteraciones, aunque existen dos etapas diferenciadas en cuanto a signo político: una de ellas, (1975-1982), engloba los años preconstitucionales y los de gobierno de la UCD; y la otra, (1982-1990), abarca desde el primer gobierno socialista hasta la publicación de la Ley Orgánica de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE) el 4 de octubre de 1990, con lo que queda derogada la Ley General de Educación, entonces vigente.

Se construyen gran número de escuelas, y se puede asegurar que se llega a la escolarización total de la población española. Lo único destacable desde el punto de vista arquitectónico es la convocatoria por el Ministerio de Educación y Ciencia de un “Concurso público de soluciones arquitectónicas de centros docentes”, y que con la resolución de dicho concurso se dispone de once trabajos, que servirán de base para la redacción de futuros proyectos de ejecución [MARQ74]. De un análisis de los citados trabajos se puede deducir lo siguiente:

- Planteamiento de la idea modular para una posible construcción industrializada y futuras adaptaciones a cambios pedagógicos.
- Comunicación interior entre aulas.
- Interrelación entre espacios docentes y convivenciales.

Lo que se logró de alguna manera fue descentralizar la construcción escolar, hasta ahora monopolizada por la Junta de Construcciones Escolares, y conseguir de esta manera una diversidad de opciones arquitectónicas. Pero todavía no se ha conseguido el ideal en cuanto a la concepción y planeamiento del espacio escolar, sugerido por



muchos autores y realizado en muchos países, y por eso en multitud de artículos de revistas de divulgación pedagógica se vuelve a plantear el tema una y otra vez.

Con todo, los años, tanto de preparación como de vigencia de la Ley General de Educación, parecen ser los de mayor actividad en el campo de la teoría pedagógica en relación con el hecho arquitectónico y su planificación global; y también es verdad que este influjo casi revolucionario, como se lo había llamado, viene dado por las directrices que la OCDE estaba sugiriendo desde su “Programa sobre las construcciones escolares”.

Así España, que quiere estar dentro de Europa y beneficiarse de las ayudas que se prevén dentro de dicho programa, realiza un cambio de política educativa acorde a las directrices marcadas y difunde y apoya la renovación desde el propio ministerio con la publicación de varios textos que resumen la esencia de las fundamentos sobre construcciones escolares que propugna la OCDE. Además, alienta foros de discusión sobre estos temas, creando un estado de opinión altamente beneficioso, y por ahora único, para el desarrollo de un nuevo modelo y modo de escuela. Ejemplo de ello es el número monográfico sobre construcciones escolares que publicó la Revista de Educación del MEC en 1974 [VVAA74].

En el período que se inicia en 1990, se entra en la recta final de la evolución histórica, y como punto de referencia único, se tiene la implantación en todo el territorio nacional de la LOGSE, la cual si bien plantea la educación desde un punto de vista absolutamente democrático y real de la situación española, carece de disposiciones arquitectónicas renovadoras. No significa que no existan disposiciones de orden constructivo [ORDE91], sino que las que hay no aportan nada nuevo, parece darse a entender que será suficiente la aplicación de la normativa recogida en la Norma Básica de la Edificación, en sus distintos apartados, de la que se hablará en los próximos capítulos.

### **3. Acústica del aula**

La distribución del espacio interno de la escuela puede decirse que hasta el establecimiento formal de la enseñanza graduada (finales del siglo XIX), ha estado condicionado por los criterios de control, vigilancia y escasez de profesorado.

Por un lado, estaban aquellos proyectos donde las aulas están simplemente separadas por un tabique sencillo, a lo largo del eje longitudinal de la sala, que termina en la tarima del profesor, con lo que se delimitan dos aulas, normalmente una para cada sexo. O también dos aulas conectadas por un hueco en la pared de la pizarra, de tal forma que un solo profesor pueda atender la clase de niños y niñas, simultáneamente. Y por otro, proyectos más racionales, como aquellos en los que las aulas están separadas por vestíbulos y/o la biblioteca. Estas disposiciones aparecen en los proyectos para escuelas de nueva planta en un controvertido concurso que se promovió durante la Iª República [VIÑA93], pero la situación real distaba sobremanera de aquellos tipos ideales [LAHO92], ya que las escuelas se ubicaban en bajos o plantas principales de edificios de viviendas o en cualquier local, encontrándose aulas separadas por tabiques a media altura que impedían un contacto visual entre los alumnos de distintas clases, y así un sólo profesor podía vigilar varios grupos. Más sofisticado, pero en el culmen del control absoluto, tipo régimen carcelario, son las disposiciones panópticas, donde existe un despacho central para el profesor y las aulas emanan radialmente de él [VIÑA90].

No es hasta bien entrado el siglo XX, con las disposiciones Técnico-Higiénicas de 1922, cuando se intenta erradicar todos estos vicios educacionales y se establece la exigencia de que las escuelas deben ubicarse en edificios pensados para tal fin, y aún así, hoy en día es posible encontrar aún alguna que otra escuela funcionando en situaciones de precariedad arquitectónica, aunque las presiones de la administración cada vez van siendo más efectivas e imposibilitan la continuidad de este tipo de centros. La implantación del método graduado de enseñanza hace que cada clase tenga su profesor correspondiente y su aula aislada del resto, hecha la salvedad de las escuelas unitarias de enseñanza primaria que, en ambientes rurales de baja densidad de población, aún siguen funcionando.

Todavía en 1956, y aunque la situación había evolucionando favorablemente con el aumento de puestos escolares promovidos desde el Estado, esta promoción no era suficiente, ya que la mayor parte de la enseñanza estaba en manos privadas. Así se llega a 1971, cuando el Estado ya dispone de un gran número de plazas escolares y se plantea, no sólo culminar la escolarización, sino además, implantar un nuevo modelo de educación, que lleva aparejado una nueva concepción del interior del edificio escolar con la creación de espacios no acotados e interrelacionados.

En un plano teórico, y desde el punto de vista acústico, la concepción de los espacios educativos propuestos es correcta si las actividades a desarrollar en ellos no son de transmisión oral o conversacionales a la manera tradicional, o en el caso que lo fueran, si los grupos fueran pequeños y suficientemente distanciados unos de otros, para no interferir.

La realidad fue muy distinta, dado que la Ley General de Educación se gestó en un tiempo récord, de espaldas a los mismos enseñantes, trasladando modelos foráneos, sin dotación humana y de recursos materiales suficientes para llevar a cabo este tipo de proceso educativo, y con un profesorado, si no en contra, si desmarcado de dicho modelo, por puro desconocimiento de lo que se pretendía. Los docentes se vieron de la noche a la mañana en unos edificios, construidos según los criterios de la nueva ley, donde el tipo de enseñanza para el que estaban diseñados no era la tradicional. Por lo que, se siguió, salvo honrosas excepciones, con el tipo de pedagogía habitual de clases magistrales, lo que dio lugar a una tremenda contradicción. A la par de esto, la precariedad financiera hace, que en el año 1973, el Ministerio de Educación y Ciencia asuma el fracaso y ante la incapacidad manifiesta de desarrollar dicho modelo, decida reducir los espacios abiertos al mínimo, dejando sólo un aula de usos múltiples. Se vuelve al aula tradicional, pero con una peculiaridad extraña, ya que se mantiene la comunicación entre aulas por puertas interiores. Con lo que se matan dos pájaros de un tiro: por un lado se economiza al reducir el volumen construido, y por otro el profesorado sigue con los métodos tradicionales.

Desde una perspectiva acústica, el modelo propuesto en 1971 fue un fracaso, puesto que lugares que estaban pensados para trabajo en pequeños grupos, y a lo sumo una relación conversacional, se utilizaron para impartir clases de tipo magistral a un gran grupo, no estando acondicionados ni para lo uno ni para lo otro. En 1973 ya se ha dicho que se vuelve al aula tradicional, pero se mantiene la comunicación interior entre aulas, lo que hace que éstas presenten deficiencias notables de aislamiento en su cerramiento común.

A partir de 1975 la construcción escolar vuelve definitivamente al concepto de aula cerrada, y a espacios de actividades múltiples (aula de música, teatro, etc...), también compartimentados. Si acaso, queda un cierto recuerdo de aquella revolución que pretendió ser la LGE en las formas y en los métodos constructivos que se propugnaban: distribuciones modulares, el afán por las construcciones industrializadas y poca cosa más. Y aún esto, queda devaluado hoy día cuando lo que se pretende es que las escuelas no se construyan según un modelo tipo, sino que sean los propios arquitectos de profesión libre los que diseñen las escuelas bajo una directrices básicas y específicas para escuelas, y descartar las vías tradicionales utilizados hasta ahora, que habían sido, los concursos de proyectos, o los proyectos emanados directamente por los equipos técnicos ministeriales [AVEL81].

La situación actual no se puede calificar de desalentadora, pero no se ha alcanzado todavía la madurez política para que los distintos gobiernos autonómicos, o el gobierno central, sean capaces de elaborar unas directrices básicas, completas y satisfactorias sobre cuál debe ser la calidad que debe tener, como mínimo, una escuela en nuestro país, ya que se puede demostrar que la Norma Básica de la Edificación contiene ciertas ambigüedades y deficiencias, relativas al acondicionamiento acústico, que no la hacen del todo adecuada, para cumplir esta misión. Existen intentos en esta dirección plasmados en ciertas publicaciones editadas por algunos gobiernos autónomos, donde se pretende clarificar cuáles son las calidades y cualidades que debe tener, como mínimo, las construcciones escolares, pero que no aportan luz sobre la problemática acústica y en otros aspectos tampoco son del todo correctos, ni completos [CONS91] [FERN90].

Por último y a modo de curiosidad señalar que, ya en el año 1974 una publicación ministerial recogía recomendaciones internacionales respecto al confort y calidad que debían reunir los espacios docentes, de las que, desgraciadamente, se ha hecho caso omiso de forma sistemática [VVAA74].

### 3.1 La acústica y su inclusión en los proyectos de centros escolares

La acústica como tal no aparece como una preocupación en el desarrollo de la edificación escolar, si bien en los primeros tiempos se dice algo respecto a la ubicación de la biblioteca, que debería procurarse situada alejada de las zonas de tránsito y de los entornos ruidosos. Si acaso, cuando se habla de su ubicación, parece tenerse cuidado de que no esté en lugares insalubres y alejada del trasiego de carruajes; o en la definición del campo escolar se adivina algo parecido a un cierto aislamiento del ambiente acústico exterior.

La primera referencia data del año 1956, donde se dice explícitamente que las aulas deberán tener, como máximo, 1,5 segundos de tiempo de reverberación. En los años posteriores, empiezan a aparecer normativas, las cuales serán tratadas con mayor detalle en el capítulo siguiente.

La realidad acústica de la edificación escolar en España es muy pobre, y quizás haya que buscar la justificación en su devenir histórico, plagado de precariedad económica, de incultura arquitectónica escolar y de una necesidad imperiosa de total escolarización, donde primaba más la cantidad que la calidad. Pero a partir de la década de los 70, cuando el problema de la escolarización empezó a no ser el de la carencia de puestos escolares y la arquitectura empezaba de nuevo a despertar, y envueltos como estábamos en los programas de la OCDE referentes a estos temas, no se puede entender cómo las recomendaciones que se publicaban en libros y revistas editadas por el propio ministerio de Educación, no se tuvieran en cuenta [ADER77] [PEAR78]. Por ejemplo, en un especial de la Revista de Educación (1973), se puede leer la exigencia proveer a las aulas de techos acústicos y de que el tiempo de reverberación sea menor de 0,6 segundos.

Pues bien, todavía hoy, cuando se comentan esos dos requerimientos con alguna persona responsable de estos temas, la sensación que queda es la de estar hablando de utopías inalcanzables.

### 3.2 Criterios generales para el aislamiento y acondicionamiento acústicos de aulas

No estaría de más recordar la filosofía general con la que uno debe enfrentarse a estos temas de acondicionamiento y aislamiento acústico, ya que, en el fondo, lo que se pretende es normalizar los parámetros que definen objetivamente lo que se conviene en llamar "confort acústico" en el interior de los establecimientos escolares, "...que implica un alto valor de la perceptibilidad de la palabra (**inteligibilidad**), que es la exigencia que realmente puede normarse y susceptible de ser probada sin referencia a criterios subjetivos de gustos" (apartado 3.5, Normas Acústicas de la Edificación) [INST69].

Como ya se ha apuntado varias ocasiones, es muy difícil determinar independientemente qué valores son los adecuados de aislamiento y acondicionamiento para un aula, puesto que lo que se pretende conseguir es la mayor inteligibilidad posible en estos recintos. Y la inteligibilidad se ve afectada directamente por ambos factores que como se verá también guardan ciertas relaciones entre si. Es por todo lo dicho que lo primero que se va a determinar es el grado de inteligibilidad deseada para tener una excelente ÷ buena calidad acústica dentro del recinto de clase. Se requerirá que dicho valor ronde el 90%, o lo que es lo mismo, tan sólo se permitirá fallos en la recepción y comprensión del mensaje emitido del 10 %.

El dato anterior puede parecer un valor demasiado exigente, y de hecho lo sería si lo que hubiera en juego no fuera un mensaje con la intencionalidad y la carga que tienen las palabras en el acto educativo, dando por descontado que los alumnos a los que va dirigido éste son normoyentes (normoacústicos) binaurales, y sin entrar en la consideración de las distintas capacidades auditivas en función de la edad. Si se tienen en cuenta las discapacidades auditivas de algunos alumnos, esta inteligibilidad debería llegar hasta el 100 %. Por lo tanto, el 90% exigido parece cubrir estas presuntas deficiencias y valorar en su justa medida la importancia que tiene el discurso oral en el proceso de enseñanza/aprendizaje en el marco educativo.

Una vez que ya se escogido el grado de inteligibilidad que se quiere conseguir, falta determinar el cómo, lo que se hará mediante la conjunción de los condicionantes exigidos para el acondicionamiento y aislamiento acústicos del aula.

La exigencia de que ésta sea mayor del 90% en cualquier caso y bajo cualquier condición, tiene en cuenta que para poder obtener este valor se tiene que exigir alrededor de un 95% de inteligibilidad para los problemas relacionados con el acondicionamiento y otro tanto para las cuestiones de aislamiento, de forma que cuando se evalúe la inteligibilidad en condiciones normales, donde el deterioro del mensaje será debido a la confluencia de los dos factores reseñados, se obtenga como mínimo ese 90%.

### **3.3 Acondicionamiento acústico del aula**

Ya se indicó anteriormente que éste se relaciona con la reverberación del recinto principalmente, y en menor grado con la disposición espacial de sus cerramientos o geometría de la sala.

Tomando como punto de partida un primer trabajo que los autores realizaron sobre aulas universitarias [LOPE94], y en base a los resultados de otras investigaciones sobre cuál debe ser el tiempo de reverberación óptimo para la palabra [ATAL65] [BRAD85] [BRAD86], se decidió que éste estuviera en el intervalo de 0,3 a 0,9 segundos, lo que en condiciones ideales de ruido de fondo (entre 35 y 40 dBA), y para un volumen de menos de 1200 m<sup>3</sup>, se ajusta a unas expectativas razonables de conseguir un índice de inteligibilidad superior al 95%.

Los límites de dicho intervalo quedan justificados por ser 0,9 segundos el tiempo de reverberación preferido para algunos autores, tomado como valor de compromiso para que la palabra tenga suficiente viveza sin una pérdida excesiva de inteligibilidad. Sin embargo, quizás se debe derivar hacia valores más cortos en reverberación, que

aunque puedan hacer la palabra más 'seca' ésta se hace más inteligible, sin caer en el extremo de exigir valores por debajo de 0,3 segundos que, aunque en teoría parezcan los idóneos, no se debe olvidar que una clase es un espacio cerrado, pero relativamente amplio, que necesita unas ciertas condiciones de uniformidad del nivel de presión sonora en toda su superficie, y para ello siempre es necesario la presencia de algo de reverberación.

De todos los factores de reverberación que es posible determinar (T60, Early Decay Time EDT, ...) [ATAL65] [BOLT50] [BRAD86], creemos que el EDT es el más idóneo para nuestros propósitos, por ser el que mejor se ajusta conceptualmente a la problemática de las salas donde se desarrollan actividades relacionadas con la palabra. Y sobre todo, porque en un análisis posterior de el trabajo anteriormente citado, en el que se determinaron los valores de EDT frente al índice RASTI en condiciones ideales de ruido de fondo, se obtuvo la siguiente conclusión: que valores de tiempo de reverberación  $EDT = 0,3 \div 0,9$  segundos equivalían a un  $RASTI = 0,8 \div 0,6$  [VERA94], lo que corresponde con una evaluación entre 'excelente' y 'buena' para inteligibilidad de palabra, es decir, una inteligibilidad de más del 95% [BRAD86].

### 3.4 Aislamiento acústico

Respecto al aislamiento, lo que se ha hecho, ha sido indagar cuál es la relación óptima entre el nivel percibido del mensaje emitido y el nivel del mensaje intruso o ruido, que se denominará *enmascaramiento*. Además se ha considerado la falta de privacidad, que es lo que se produce cuando otro mensaje hablado se hace inteligible en los momentos de silencio o entre las pausas del nuestro propio [CAVA62] [NEWM62].

Se debe tener en cuenta que el mecanismo de audición puede, en cierta manera discriminar la información no deseable si ésta cae fuera del espectro del habla [DRUL95] [LOCH61] [MILLG47] [MILLR47]. Por lo general, el ruido de fondo en las escuelas sólo tiene dos orígenes: el tráfico o ruido exterior, de espectro diferenciado al del habla, pero no excluyente; y el ruido producido en el resto de dependencias del centro escolar, cuyo espectro, en condiciones normales, es de idéntica naturaleza al del interior del aula (salvo el ruido de mobiliario y de pasos, relacionado con el ruido de impacto, que se puede considerar ocasional y transitorio).

Con la pretensión de cuantificar el problema del aislamiento objetivamente y así determinar unos parámetros de medida suficientemente válidos, se va a plantear en líneas generales desde los dos puntos de vista apuntados anteriormente.

#### 3.4.1 Enmascaramiento del mensaje hablado.

Aquí coexisten en principio dos situaciones de enmascaramiento: el producido por el ruido exterior, generalmente de tráfico, y el derivado del ruido interior, cuya composición espectral será la de la palabra.

Aunque los espectros provenientes de las dos situaciones, como ya se ha dicho, puedan considerarse diferentes, tanto en composición como en intencionalidad, si se toma como ruido extraño o ajeno a lo que ocurre en el interior del aula. El ruido

enmascarante o máscara, lo será en tanto que reduzca la sensibilidad del oído frente al mensaje que quiere que sea inteligible [FREN47]. Una solución, aunque no la única ni la más correcta, es el aumento de la señal efectiva ( mensaje deseado ) frente al nivel de la señal extraña ( máscara ) [HIRS54] [LOCH60], obteniéndose para una inteligibilidad del  $95 \div 100$  % una relación señal/ruido,  $S/N = +6 \div +12$  dB, en condiciones de reverberación inapreciable [PEKK90] [YACU87].

Para determinar cuál debe de ser el aislamiento que se debe exigir a los cerramientos, desde esta óptica, se tiene que evaluar el nivel medio de ruido, tanto exterior como de los locales contiguos al aula, y por supuesto el nivel medio del aula en funcionamiento normal durante una clase.

El ruido de tráfico puede variar según el tipo de vial que circunde al edificio escolar y la localización del aula respecto de éste. Eligiendo dos casos extremos no infrecuentes, se encuentran aulas abocadas directamente sobre la calle con una distancia medida desde fachada al centro de la calzada de 3 metros aproximadamente (  $L_{eq} \leq 75$  dBA ). Y por otra parte, colegios con las aulas orientadas de tal forma que el ruido exterior está por debajo del ruido de fondo sin tráfico (  $L_{eq} \leq 50$  dBA ).

El ruido, debido a las actividades escolares en locales contiguos al aula problema, puede tener un valor máximo de  $L_{eq} = 75$  dBA. Además el nivel de presión sonora a un metro de los labios de un profesor puede suponerse que su valor medio oscila entre  $65 \div 70$  dBA [BRAD85].

Tomando como valor recomendado, para una inteligibilidad del 95% una relación señal/ruido = +12 dB; y para un nivel de presión sonora, producido durante la explicación en una clase normal en un punto medio del aula, de 60 dBA, si el objetivo es conseguir un aislamiento tal que el nivel de ruido, debido a todas las contribuciones del entorno del aula no sea mayor de 48 dBA. Eligiendo la situación más desfavorable, o sea considerar el aula, como un paralelepípedo cuyas seis caras pueden estar expuestas simultáneamente a la acción del ruido con un valor promedio de 70 dBA, ello implica que el aislamiento medio de cada uno de los cerramientos de ser, como mínimo, de  $R = 25$  dBA.

El valor obtenido para el aislamiento medio,  $R = 25$  dBA, es excesivamente bajo, y a todas luces, parece insuficiente. Y esto se debe a que en el razonamiento del párrafo precedente se está presuponiendo erróneamente que durante una sesión de clase se está permanentemente y sin pausa hablando con una potencia de 75 dBA, cuando lo que ocurre, por la naturaleza misma del lenguaje discursivo, es bastante diferente: éste se compone de pausas, descansos, tiempo de reflexión y alguna que otra estrategia retórica que lo hacen estar muy alejado del continuo con el que se elaboró la premisa anterior.

Es por todo esto por lo que todavía tiene que aquilatarse el concepto de aislamiento, teniendo en cuenta otros factores más subjetivos.



### 3.4.2 Privacidad o intromisión de mensajes en nuestro propio entorno

El ruido de fondo que debe existir en una sala de clase en silencio debe de rondar los  $30 \div 35$  dBA [BRAD85] [WEBS78], pero si se quiere ser realista se puede aceptar como usual 35 dBA, teniendo en cuenta que la presencia física de alumnos no es estática, y también el hecho de que el discurso docente no es un continuo, y por lo tanto, las pausas y silencios tampoco se pueden considerar absolutas. Con todo lo dicho, apoyándonos en el concepto de privacidad, tal como lo enuncia Newman [NEWM62] y las ideas sobre enmascaramiento temporal y espectral [CAVA62], el problema se puede comprender con mayor amplitud.

Sigue siendo válida la situación más desfavorable del caso anterior, pero ahora en vez de evaluar el aislamiento mediante la relación señal/ruido, se debe de enfocar el problema desde otro punto de vista, que tenga en cuenta la inteligibilidad cuando el ruido intruso sea el habla. Y por otra parte, el grado de molestia o distracción si lo que media es ruido de tráfico, movimiento de mobiliario, pasos, etc.

Se considera que cuando no mas del 5% de las sílabas son inteligibles, se consigue una privacidad satisfactoria, y que hasta que el 10% sea inteligible no supone una distracción apreciable. Pero que ya entre un 10 y un 30%, umbral de inteligibilidad, con cierto esfuerzo ya es posible entender lo que se filtra a través de las paredes, por lo que se está en una zona no satisfactoria [CAVA62]. Entonces se puede determinar fácilmente cuál debe ser el aislamiento necesario para que los mensajes emitidos en recintos contiguos no nos sean inteligibles, y para ello se tendrá en cuenta el ruido de fondo de nuestro recinto en condiciones de calma, y siguiendo el método propuesto por algunos autores [ATAL65] [ALDE72], se obtiene que el aislamiento que se debe exigir al cerramiento es de  $R = 45$  dBA para que la privacidad alcance un buen resultado.

Por lo que se puede concluir que el aislamiento a ruido aéreo ofrecido por los cerramientos internos debe de ser el más restrictivo de las dos situaciones planteadas, o sea  $R = 45$  dBA, con lo que se asegura una privacidad satisfactoria y una señal ruido  $S/N > +20$  dBA, a todas luces excelente

Para la otra situación planteada, cuando el ruido es de tráfico, por ejemplo, el aislamiento del cerramiento exterior será tal que se perciba 5 dBA, como mínimo, por debajo del ruido de fondo para que no produzca fatiga. Si el ruido de tráfico produce niveles medios de 65 dBA, se puede exigir al cerramiento responsable un aislamiento  $R=30$  dBA, no siendo demasiado restrictivos como ya se verá más tarde, al tener en cuenta otras cuestiones.

En cuanto al ruido de impacto, su aislamiento debe ser tal que las pisadas en el transcurso normal de una clase, se transmitan con un nivel asimilable al ruido de fondo y que el movimiento ocasional de sillas y mesas no produzca sobresaltos.

Una vez clarificado qué es lo que se debe evaluar, cuales son los parámetros de medida y sus valores óptimos, junto con la Normativa de referencia actual en acústica de la edificación (la NBE, en este caso), se pueden valorar los resultados que se consigán experimentalmente [ORDE88].

#### **4. Normativas legales que regulan la acústica de aulas**

Las aulas, como espacios que tienen un uso concreto, deben satisfacer una serie de condiciones constructivas tal como debe establecerse en los Códigos o Normas constructivas que rigen en cada país. La existencia de normativas que regulen específicamente las condiciones acústicas que deben poseer las aulas de enseñanza tienen capital importancia, ya que sólo una coerción legal, con su abanico de responsabilidades económicas, puede garantizar que se cumplan dichas condiciones. Ya que si sólo se trata de cumplir unas recomendaciones, por bien intencionadas y sensatas que resulten, pueden quedar pospuestas en las prioridades del promotor inmobiliario ante la presión del mercado.

En lo que sigue, se hará un breve repaso a las normativas que rigen los proyectos de construcciones arquitectónicas para un uso escolar, tanto para España, como para otros países, ya sean de la Unión Europea o no, pero que tienen en cuenta el papel importante que juega la calidad constructiva de las edificaciones escolares.

#### **4.1 Legislación española sobre acústica de aulas**

Históricamente, la acústica de las aulas no aparece como una preocupación en el desarrollo de la edificación escolar, salvo referencias a la ubicación de la biblioteca, que debería procurarse situar lejos de las zonas de tránsito y otros entornos ruidosos; o cuando se habla de la propia escuela, a tener cuidado de no edificarla en lugares insalubres y cerca de vías de circulación de carruajes; o cuando se planifica el campo escolar, donde se intuye que se busca un cierto aislamiento del ambiente acústico exterior.

Una primera referencia clara se tiene en el año 1956, donde se dice explícitamente que las aulas deberán tener, como máximo, 1,5 segundos de tiempo de reverberación.

En 1964, se dan indicaciones más explícitas en una Orden del Ministerio de Educación Nacional [ORDE64], donde en el apartado 3.7 Aislamiento Acústico de los edificios se hacen las siguientes consideraciones de interés:

*“Los edificios se proyectarán separando las zonas ruidosas y tranquilas y procurando que las zonas tranquilas no tengan sus fachadas dando directamente a espacios de juego o deportes ruidosos exteriores”* (apartado 3.7.1).

*“Se evitará la transmisión de ruidos del exterior al interior, de local a local y de pasillos a locales”* (apartado 3.7.2).

*“El tiempo de reverberación se considerará de 0,75 segundos. En ningún caso se sobrepasarán los 1,25 segundos con clase llena. La pared frontal de las clases conviene que sea reflectante y la del fondo absorbente”* (apartado 3.7.3).

Ya en pleno apogeo de la Ley General de Educación de 1970, en una Orden Ministerial del 10-02-1971 sobre “Programa de necesidades docentes para la redacción de Proyectos de Centros de EGB y de BUP” se comenta muy lacónicamente que las salas de audiovisuales deberán tener acondicionamiento acústico y no se hace hincapié en cuestiones relativas a instalaciones o al control ambiental [ORDE71].

No será hasta 1975 cuando se especifique claramente que las construcciones deberán cumplir las recomendaciones del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (Patronato “Juan de la Cierva” del Centro Superior de Investigaciones Científicas, CSIC) [INST69] [ORDE73] [TOBI75]. Y desde el momento que existen las Normas Básicas para la Edificación (NBE), serán de obligado cumplimiento lo que en ella se establece, y que para el caso de las condiciones acústicas se detalla a continuación.

En la actualidad, la legislación sobre condiciones constructivas en la edificación es, dentro del Estado de las Autonomías, competencia estatal, y está vigente en lo referente a las condiciones acústicas de los edificios, la llamada **NORMA BÁSICA DE LA EDIFICACIÓN, Condiciones Constructivas de los edificios NBE-CA-88** [ORDE88], cuyos antecedentes son la NBE-CA-82 [REAL82], por el que se modifica la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81, y el Real Decreto [REAL81], por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81, sobre condiciones acústicas de los edificios.

En el preámbulo, se establece que la motivación de la NBE CA-88 es *“La necesidad de proteger a los ocupantes de los edificios de las molestias físicas y síquicas que ocasionan los ruidos, aconseja dictar una norma que establezca las condiciones mínimas exigibles para mantener en ellos un nivel acústico aceptable.”*

En el artículo 1º se indica que el objeto de esta Norma es *“...establecer las condiciones mínimas exigibles a los edificios, adecuadas al uso y actividad de sus ocupantes”*.

Sin embargo queda claro que el ámbito de aplicación queda reducido *“...al aislamiento acústico que en cada caso se defina, de todos y cada uno de los elementos verticales y horizontales que conforman los distintos espacios interiores habitables.”*(artículo 3), dejando bien claro, en este mismo artículo que *“No se contempla en esta NBE el acondicionamiento acústico de locales”*, cuestión de gran trascendencia, como ya se ha señalado en múltiples ocasiones a lo largo de este informe.

Se tiene en cuenta el nivel de inmisión de ruidos que afectan al ambiente interior de las salas: *“...el ambiente interior se caracteriza por los niveles de inmisión valorados en dBA, así como por el nivel de vibración y el tiempo de reverberación. En el Anexo 5, se establecen, a título indicativo, los niveles límite recomendables para los distintos ambientes”* (artículo 5º). En la Tabla 5.1 de este Anexo puede verse que para Aulas, los niveles equivalentes  $L_{eq}$  de inmisión que se recomienda no sobrepasar durante el día (8 a 22 h), son de 40 dBA, mientras que para las zonas comunes este nivel puede ser de 50

dBa. Por otra parte, en la Tabla 5.4 de este Anexo, se fijan los tiempos de reverberación recomendados para los distintos locales de diferentes edificios. Para los edificios de uso docente, estos tiempos de reverberación  $T_R$ , expresados en segundos, tendrían los siguientes valores:

Aulas	$0,8 \leq T_R \leq 1,5$
Sala lectura	$0,8 \leq T_R \leq 1,5$
Zonas comunes	$1,5 \leq T_R \leq 2,0$

Como puede verse, estos valores están lejos de ser los que en los últimos tiempos se considera aceptables para las aulas: entre 0,4 y 0,8 segundos.

En el Capítulo III de la Norma “Condiciones exigibles a los elementos constructivos” se detallan los valores del aislamiento acústico de distintos cerramientos:

a) Particiones interiores verticales como elementos separadores de locales utilizados por un solo usuario en edificios de usos residencial público o sanitario: el aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible es de 30 dBA para los que compartimentan áreas del mismo uso y 35 dBA para los que separan áreas de uso diferente (artículo 10°).

b) Paredes separadoras de propiedades o usuarios distintos, como pueden ser las paredes separadoras de aulas en edificios de uso docente: el aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a estos elementos constructivos se fija en 45 dBA (artículo 11°).

c) Paredes separadoras de zonas comunes interiores, como las paredes que separan las aulas de las zonas comunes del edificio, tales como cajas de escalera, vestíbulos o pasillos de acceso, y locales de servicio comunitario, en edificios de uso docente: el aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a estos elementos constructivos se fija en 45 dBA (artículo 12°).

d) Para las fachadas, considerados como los elementos constructivos verticales o con inclinación superior a 60° sobre la horizontal, y que separan del exterior los espacios habitables del edificio, el aislamiento acústico global mínimo a ruido aéreo a estos elementos constructivos se fija en 30 dBA (artículo 13°).

e) Elementos horizontales de separación de dos espacios o locales, estando formados por un conjunto de techo, forjado y solado, siempre que, al menos uno de los locales, tenga un uso docente, como escuelas, institutos y universidades: el aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a estos elementos constructivos se fija en 45 dBA. El nivel de ruido de impacto normalizado LN en el espacio subyacente no será superior a 80 dBA, con la excepción de que estos espacios sean exteriores o no habitables, como porches, cámaras de aire, almacenes o salas de máquinas (artículo 14°).

f) Finalmente, y en cuanto a las cubiertas, consideradas como conjunto de techo, forjado o elemento estructural y cubrición propiamente dicha, el aislamiento mínimo a ruido aéreo R exigible a estos elementos constructivos se fija en 45 dBA (artículo 15°).

La Normativa que se acaba de comentar no parece muy exigente, pero a la vista de los supuestos que se han considerado en el apartado 3 de este informe, hay que

convenir que se ajusta a ellos, salvo en lo que se refiere a los tiempos de reverberación. En otros países, más preocupados por el confort acústico, son más restrictivos con los niveles de aislamiento exigidos, lo que implica directamente una mejora de la calidad de la construcción.

Un efecto que produjo esta Normativa, es el que al menos se dispuso de un referente para validar lo que se estaba construyendo, ya que el problema principal no era si la Norma era más o menos restrictiva, sino que, aún siendo de obligado cumplimiento, no se ejercía ningún tipo de control real sobre la misma. Los autores han podido constatar, a través de distintos trabajos experimentales realizados en los últimos años, que el grado de incumplimiento, total o parcial, es porcentualmente elevado [NAVA93] [PARR93] [SAEZ93] [GARC94] [MORE94] [MURC94].

En el momento presente está en estudio en el Ministerio de Fomento un Documento de Aplicación de Código (DAC) sobre “Protección contra el ruido” , que forma parte del Código Técnico de la Edificación, y que será aprobado en su momento como Real Decreto. La Ley de Ordenación de la Edificación [LOE99] establece en el artículo 3º (“Requisitos básicos de la edificación”), y en su apartado 2 que “El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias técnicas de calidad de los edificios y sus instalaciones, de tal forma que permita el cumplimiento de los anteriores requisitos básicos” . Y que “las Normas Básicas de Edificación constituyen la reglamentación técnica hasta que se apruebe la CTE”.

Este Documento de Aplicación de Código [DAC02] prevé bastantes modificaciones de los valores de ciertos parámetros acústicos fijados en la NBE-CA-88. De ser aprobado en su redacción actual, las construcciones de uso docente deben tener las siguientes características en lo referido al aislamiento acústico:

- 1) El aislamiento a ruido aéreo entre dos recintos habitables, colindantes vertical u horizontalmente, ambos pertenecientes a la misma unidad de uso, no será menor que 30 dBA.
- 2) El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y cualquier otro del edificio, colindante vertical u horizontalmente, que pertenezcan a distinta unidad de uso, no será menor de 50 dBA.
- 3) El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y otro, colindante vertical u horizontalmente con él, en el que se alojen instalaciones o cualquier otro dispositivo que constituya una fuente de ruido necesaria para el funcionamiento del edificio, no será menor de 55 dBA.
- 4) El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y un recinto común del edificio, colindantes vertical u horizontalmente, no será menor que 50 dBA.
- 5) El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y un recinto de actividad del edificio, colindantes vertical u horizontalmente, que pertenezcan a distinta unidad de uso, no será menor que 60 dBA.

- 6) El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y el exterior del edificio no será menor que 30 dBA, cuando predomine el ruido de tráfico rodado, ni menor que 32 dBA, cuando predomine el ruido de aeronaves, ni menor de 32 dBA cuando predomine el ruido de tráfico ferroviario o de estaciones ferroviarias, valorados éstos como ruido interior.

En lo que se refiere a ruido de impactos se establece:

- 1) El nivel (de presión) de ruido de impactos en un recinto habitable colindante verticalmente con otro también habitable o con un recinto común del edificio no será mayor que 65 dB.
- 2) El nivel (de presión) de ruido de impactos en un recinto habitable colindante verticalmente con un recinto de actividad o con un recinto en el que se alojen instalaciones o cualquier otro dispositivo que constituya una fuente de ruido necesaria para el funcionamiento del edificio, no será mayor que 60 dB.
- 3) El nivel (de presión) de ruido de impactos en un recinto habitable subyacente a una cubierta transitable no será mayor que 65 dB.

En lo que se refiere al acondicionamiento acústico interior, se establece que:

- 1) El tiempo de reverberación en recintos habitables de edificios de uso docente, independientemente del volumen del recinto, no debe ser mayor que 0,6 s, en condiciones de ocupación menores o iguales que el 60 %.
- 2) Alternativamente, puede utilizarse el índice de inteligibilidad RASTI, e independientemente del volumen del recinto, su valor no será menor que 0,75, en condiciones de ocupación menores o iguales que el 60 %. En todos los casos se aceptará como válida la opción del proyectista o constructor.

Por último, los niveles continuos equivalentes  $L_{eq}$  de inmisión de ruido aéreo para edificios de uso docente, serán los siguientes:

Aulas : 40 dBA

Sala lectura : 35 dBA

Zonas comunes : 50 dBA

## 4,2 Legislación sobre acústica de aulas en otros países

De una u otra manera, los países de nuestro entorno geográfico han ido regulando, no sólo las construcciones arquitectónicas en general, sino también las de uso específicamente docente.

En el caso de Italia, los edificios de uso escolar estaban regulados por un Decreto Ministerial de 1975 [DM75] en el que se establecían los siguientes valores para las características acústicas:

- 1) El índice de aislamiento de las estructuras divisorias internas verticales y, eventualmente, horizontales, deberá ser de 40 dB.
- 2) El grado de aislamiento de ventanas fijas hacia el exteriores será de 25 dB.
- 3) El grado de aislamiento de las conducciones de toma de aire hacia el exterior será de 20 dB.
- 4) El grado de aislamiento de los cerramientos exteriores ciegos será superior en 10 dB al establecido en 2.
- 5) El nivel de ruido de impacto normalizado será de 68 dB.
- 6) Medido in situ, el aislamiento entre ambientes adyacentes será de 40 dB.
- 7) Medido in situ, el aislamiento entre dos ambientes superpuestos será de 42 dB.
- 8) El nivel de ruido de impacto normalizado, determinado in situ, será de 68 dB.
- 9) Los valores óptimos del tiempo de reverberación serán (en segundos): 1,8 (125 Hz); 1,5 (250 Hz); 1,2 (500 Hz); 1,0 (1 kHz); 1,0 (2 kHz); 1,1 (4 kHz)

Estos valores no son nada exigentes, y en particular el tiempo de reverberación es bastante elevado, aunque en consonancia con los valores que se establecían en la época en otros países.

Los valores del aislamiento acústico que se establece para los edificios escolares han sido actualizados recientemente (1997), mediante un Decreto del Presidente del Consejo de Ministros [DPCM97], en el que los nuevos valores son los siguientes:

- 1) El índice de aislamiento aparente  $R_w$  entre dos particiones verticales de recintos diferentes será de 50 dBA.
- 2) El aislamiento acústico estándar entre dos salas  $D_{2m,nT}$  será de 48 dBA.
- 3) El nivel de ruido de impacto normalizado  $L_{n,w}$  será de 58 dB.



- 4) El nivel de ruido de inmisión máximo  $L_{ASmax}$ , con constante slow (S), será de 35 dBA.
- 5) El nivel sonoro continuo equivalente de inmisión  $L_{Aeq}$  será de 25 dBA.
- 6) Para los tiempos de reverberación se estará a lo determinado en el Decreto Ministerial de 1975 [DM75].

Estos valores, por lo menos en lo referido al aislamiento acústico, ya representan un avance sustancial respecto a los anteriormente existentes.

En Francia, país con gran tradición centralista, ha visto cambiar el reparto de competencias en materia de construcciones escolares, a partir de los esfuerzos descentralizadores de los años 80 [VENE01]. Las condiciones constructivas de los centros escolares son las mismas que rigen para el resto de las construcciones, de acuerdo con el *Code de la Construction et de l'Habitation*, aunque desde 1995 existe un *Observatoire National de la Sécurité* (ONS) de los establecimientos escolares y de enseñanza superior, que está encargada de estudiar las condiciones de aplicación de los procedimientos y reglas de seguridad en los centros escolares de todos los grados (desde primaria hasta la Universidad), publicando fichas prácticas, guías y otros documentos de interés para los responsables de los centros.

Como regla general, los aislamientos estándar ponderados se exige sean superiores a 50 dB, que pueden llegar a 58 dB cuando se trata de un cerramiento que separa cuartos de máquinas o similares [ARRE99]. El tiempo de reverberación óptimo para las aulas ordinarias se establece entre 0,6 y 1 segundo, y para las aulas dedicadas a la enseñanza musical entre 1,1 y 1,5 segundos [DIRE02].

En el Reino Unido hace escasos días (10-12-2002) que ha terminado el periodo de información del Building Bulletin 93 (BB93), cuyo objetivo es el de suministrar una guía completa para el diseño de nuevas construcciones escolares, al uso de arquitectos, empresas de las construcción y otras partes involucradas [BB9302].

A continuación se hará un breve resumen de las propuestas más interesantes:

El ruido de fondo máximo (aula vacía, sistemas de acondicionamiento en marcha, fuentes sonoras exteriores), medido a través del Nivel Equivalente  $L_{Aeq,30min}$ , será de 35 dBA en las aulas ordinarias y de 30 dBA en las aulas para enseñanza de la música y auditorios.

El aislamiento a ruido aéreo mínimo entre aulas y entre aulas y zonas comunes será de 45 dB.

El aislamiento a ruido aéreo mínimo entre aulas y salas de especial atención (enseñanza de apoyo, preparación de clases,...) será de 50 dB.

El aislamiento a ruido aéreo mínimo entre aulas y talleres o laboratorios será de 55 dB.

El aislamiento a ruido aéreo mínimo entre aulas y salas para enseñanza musical, teatro, etc será de 60 dB.

El tiempo de reverberación, para frecuencias medias y salas vacías, en clases corrientes oscilará entre 0,4 y 0,8 segundos.

De gran interés es la sección 6 de la BB93, que se centra específicamente en los criterios de diseño de las aulas dedicadas a niños con discapacidades auditivas. Basándose en los pocos datos disponibles en la literatura científica [PICA01] se acepta que este tipo de niños necesitan unas condiciones acústicas más exigentes, lo cual lleva a las siguientes propuestas:

Un nivel de ruido con la sala vacía de 35 dBA (aunque la American Language Hearing Association –ASLHA- recomienda un valor de entre 30 y 35 dBA).

Un tiempo de reverberación con sala vacía de sólo 0,4 segundos.

Una relación de señal/ruido de 20 dB en el intervalo de frecuencias 125 ÷ 750 Hz, y de 15 dB en el intervalo 750 ÷ 4000 Hz.

A destacar que, en la Sección 7, se hace una valoración de las distintas ayudas que los niños discapacitados deben llevar en clase ( FM, Sistemas de Apoyo Sonoro, etc), cuya efectividad será siempre implementada por unas buenas condiciones acústicas base (aislamiento alto, reverberación baja, buena relación señal/ruido).

Está previsto que la BB93 sea aplicada a partir de la primavera del 2003, aunque tardará mucho más tiempo en hacerse sentir, ya que sólo tendrá efecto en las nuevas construcciones que se inicien a partir de ese momento.

En los Estados Unidos de América se dispone ya en estos momentos de una norma, la American National Standard **ACOUSTICAL PERFORMANCE CRITERIA, DESIGN REQUIREMENTS, AND GUIDELINES FOR SCHOOLS (ANSI S12.60-2002)**, aprobada el 26-06-2002 y publicada en septiembre del 2002.

Esta Norma ha tenido una gestación muy peculiar, sobre todo por su rapidez. El organismo *Architectural and Transportation Barriers Compliance Board* (Access Board) de la administración federal de los Estados Unidos de América, recibió en abril de 1997 la petición de un padre, cuyo hijo padecía discapacidad auditiva, instando a que se modificaran las directrices publicadas en 1991 por la Access Board sobre una ley aprobada en 1990 (*Americans with Disabilities Act, ADA*), y que se denominaban *Americans with Disabilities Act Accessibility Guidelines, ADAAG*, incorporando previsiones para el diseño y las características acústicas de los edificios, en razón de las personas de que las personas que padecen discapacidades se les facilite el uso de los edificios.

Siguiendo el procedimiento establecido en USA, y después de una audiencia pública que se inició en junio de 1998 (Request for Information, RFI), se votó que el Access Board se uniera al grupo de trabajo que sobre Acústica de Aulas ya existía entre el American National Standards Institute (ANSI) y la American Society of Acoustics (ASA), junto con otras aportaciones de personas e instituciones interesadas en el tema.

Los intensos trabajos durante tres años han culminado en la Norma que se acaba de publicar hace escasamente dos meses.

Es intención de la Access Board el interesar al International Code Council (ICC) para que se incorpore la ANSI S12.60-2002 al International Building Code del año 2003. El ICC consideró esta propuesta en su reunión de septiembre pasado, no siendo aprobada ante las dificultades que se presentan para acomodar las especificaciones técnicas constructivas actualmente existentes a los requerimientos de la Norma y los costos que ello representa en la industria de la construcción. Sin embargo, hubo un consenso absoluto entre las partes interesadas en trabajar con el Comité S12 ANSI-ASA sobre Ruido para resolver estas cuestiones.

A continuación, se comentan brevemente los aspectos más importantes de la S12.60-2002.

En la introducción se enfatiza el hecho de la importancia que tienen para las aulas y otros espacios para el aprendizaje unas buenas condiciones acústicas. Un excesivo ruido de fondo (tanto de inmisión del exterior como el interior propio) y una alta reverberación interfieren el mensaje verbal que se produce en el proceso de aprendizaje, degradándolo y haciendo más difícil dicho proceso. Y esta mejora deseable en las condiciones acústicas no sólo beneficiaría a todos los usuarios de la clase, incluyendo profesores y alumnos adultos, si no que daría lugar a una ventaja especial a favor de aquellos niños que tengan algún tipo de discapacidad auditiva, de lenguaje, de déficit de atención o de aprendizaje. Por ello, se opina que la construcción de aulas de acuerdo a esta Norma debe mejorar la calidad de la educación impartida, gracias a la eliminación de las barreras acústicas actualmente existentes entre profesores y alumnos, incluyendo a aquellos que poseen algún tipo de discapacidad en la comunicación.

El objetivo principal de la Norma, obtención de unos parámetros acústicos de calidad en las aulas, se consigue fijando el valor máximo del ruido de fondo (mediante el nivel equivalente  $L_{eq}$  para una hora, con ponderaciones A y C) y limitando el valor del tiempo de reverberación de las salas (apartado 1.1.2).

El ruido de fondo máximo se estima a través del valor del Nivel Continuo Equivalente  $L_{eq}$ , para una duración de la medida de una hora, y ponderando la medida con las redes A y C.

El tiempo de reverberación máximo que se permite a la sala es el medido a tres intervalos de octava, cuyas frecuencias centrales son 500, 1000 y 2000 Hz.

Los valores que, para estos dos parámetros, fija la Norma son los indicados en la Tabla que se muestra a continuación (Tabla 1 de la ANSI S12.60-2002):

Es de señalar que para aulas de volumen superior a 566 m<sup>3</sup> (que en realidad ya se pueden considerar auditorios) sus características no pueden ser fijadas de forma tan estricta como en las aulas de menor volumen. Por ello, la Norma se limita a dar una serie de consejos para disminuir la reverberación de dichas salas.

<b>Tipo de sala</b>	<b>Ruido de fondo máximo Leq, 1 hora, A (dB)</b>	<b>Tiempo de reverberación máximo para las octavas 500, 1000 y 2000 Hz (s)</b>
Aulas de volumen < 283 m <sup>3</sup> (< 10000 pie <sup>3</sup> )	35	0,6
Aulas de volumen comprendido entre 283 m <sup>3</sup> y 566 m <sup>3</sup> (> 10000 pie <sup>3</sup> y < 20000 pie <sup>3</sup> )	35	0,7
Aulas de volumen > 566 m <sup>3</sup> (>20000 pie <sup>3</sup> )	40	Controlar la reverberación de acuerdo con apartado C3.3 de la Norma

Para conseguir que el ruido de fondo del aula esté por debajo de los valores citados es necesario que los cerramientos del aula, tanto los horizontales como los verticales, posean un determinado grado de aislamiento acústico respecto de los espacios adyacentes. Los valores del aislamiento requerido (dados mediante la magnitud STC –Sound Transmission Class–) se dan la Tabla siguiente (Tabla 2 de la ANSI S12.60-2002): El STC es un número que da el grado de aislamiento de un cerramiento, y cuanto mayor sea este número mayor es el aislamiento requerido.

<b>Espacios adyacentes</b>			
Aulas, clínicas audiológicas, salas de enfermería, exterior	Aseos públicos	Corredores, escaleras, oficinas o salas de reunión	Aulas musicales, salas de máquinas, cafeterías, gimnasios y piscinas cubiertas
<b>STC 50</b>	<b>STC 53</b>	<b>STC 45</b>	<b>STC 60</b>

También se recomiendan unos valores del aislamiento de los espacios anejos a las aulas, como pueden ser los corredores, cafeterías, gimnasios, piscinas cubiertas y otros, respecto de otros adyacentes. En la Tabla que se muestra a continuación aparecen estos valores (Tabla 3 de la S12.60-2002):

Espacio anejo receptor	Espacio adyacente				
	Corredores, escaleras, aseos públicos o privados	Aulas de enseñanza musical	Oficinas, Salas de reuniones	Exterior	Salas de máquinas, Cafeterías, gimnasios, Piscinas cubiertas
Corredores	STC 45	STC 60	STC 45	STC 45	STC 55
Aulas de enseñanza musical	STC 60	STC 60	STC 60	STC 45	STC 60
Oficinas, salas de reuniones	STC 45	STC 60	STC 45	STC 45	STC 60

Uno de los aspectos más relevantes de la Norma es la inclusión de toda una serie de Anexos que sirven de guía para poder satisfacer los criterios acústicos establecidos.

En el Anexo A se hace una revisión sistematizada de los conceptos implicados para conseguir unos determinados criterios acústicos para las aulas, y que justifican los valores adoptados en la Tabla 1 para el ruido de fondo y los tiempos de reverberación. A señalar la observación que se hace en el apartado A1.4 donde se advierte que las condiciones acústicas de una sala donde hay personas con discapacidades auditivas deben ser tales que la relación señal/ruido en esa sala debe mejorarse en +3 dB, respecto de los valores adecuados para normoyentes, para así corregir los mayores efectos negativos de la reverberación en estas personas.

En el Anexo B se ofrecen directrices para el control del ruido en los edificios, producido por los servicios (aire acondicionado), instalaciones (eléctricas, sanitarias) y equipos didácticos (audiovisuales, ordenadores,...).

En el Anexo C se ofrecen directrices para controlar la reverberación en las aulas y en otros espacios de la escuela. Se dan orientaciones y metodologías para conseguir que la absorción de una sala sea la deseada.

En el Anexo D se dan directrices para el aislamiento acústico de las aulas, desde la situación de la escuela respecto a su entorno, situación de las aulas dentro de la escuela, hasta las condiciones que deben cumplir los cerramientos.

En el Anexo E se indican las “buenas prácticas constructivas” y procedimientos a seguir en la ejecución de los edificios para cumplir con lo establecido en esta Norma.

Por último, en el Anexo F se analizan los posibles conflictos que pueden existir al aplicar esta Norma con otras que regulan la aireación y calidad del aire en el aula; mientras que en el Anexo G se advierte sobre los problemas de usar otros descriptores acústicos para evaluar el ruido en las aulas, distintos de los utilizados en esta Norma.

Todos los Anexos van acompañados de una bibliografía básica sobre el tema que trata cada uno de ellos.

En resumen, se puede decir que esta Norma es una de las más detalladas y completas sobre las condiciones acústicas de las aulas, y que además tiene en cuenta, de forma explícita, la problemática de los alumnos con discapacidades auditivas.

### **4.3 Valoración conjunta de las normativas**

A la vista de las legislaciones vigentes y de las propuestas de actualización actualmente en trámite, se puede hacer un balance conjunto sobre los distintos parámetros que se manejan en el aislamiento y acondicionamiento acústicos de las escuelas:

- a) Los niveles de ruido de fondo en las aulas, estando desocupadas y siendo las fuentes sonoras las exteriores y el acondicionamiento de aire, están en unos 35 dBA en las propuestas más recientes y en 40 dBA en anteriores. En los casos más delicados (aulas especiales) se sugiere que el nivel de ruido de fondo debe estar más cerca de 30 dBA.
- b) Los aislamientos a ruido aéreo deben ser superiores a 45-50 dBA, según el parámetro elegido, siendo 5-10 dBA mayores cuando se trata de cerramientos entre aulas y ciertos espacios más ruidosos (aulas de música, talleres, laboratorios, etc).
- c) El nivel de ruido de impacto normalizado debe ser del orden de 60 dB, lo que representa una disminución bastante apreciable respecto de los valores habituales en la normativa vigente en muchos países (en España, la NBE-CA-88 establece un valor máximo de 80 dBA).
- d) El tiempo de reverberación óptimo para una clase normal se sitúa entre 0,4 y 0,8 segundos, muy lejos de los valores establecidos en muchas normativas, donde se aceptan tiempos tan elevados como 1,5 segundos. Para clases especiales este tiempo óptimo debe ser 0,4 segundos.

## **5. Condiciones acústicas experimentales de las aulas de enseñanza**

## 5.1 Introducción

Como ya se ha repetido en distintas ocasiones en este informe, cuando se diseña un espacio arquitectónico, cuyo uso prioritario es la transmisión de la palabra (aulas y auditorios), es particularmente importante atender al objetivo de conseguir una buena audición y en general un ambiente acústico agradable. Ello implica una atención especial a los requerimientos acústicos tanto en el diseño, como en la realización y acabado. Para ello se deben considerar dos aspectos fundamentales:

- Que el espacio disponga de un aislamiento acústico suficiente
- Que el acondicionamiento acústico de dicho espacio sea el adecuado a las necesidades manifestadas en el proyecto.

Para el caso del aislamiento acústico el referente fundamental en España, en cuanto a valorar la calidad de las particiones que separan este tipo de espacios (aulas), es la exigencia mínima que se establece en la NBE-CA-88, y que es de 45 dBA para el aislamiento a ruido aéreo y de un nivel de ruido de impacto normalizado máximo de 80 dBA. Dado que no existe un procedimiento constructivo a seguir, de manera que permita garantizar el valor final del aislamiento que se va a obtener “in situ”, cuando se finalice la obra, ya que en ello pueden influir muchos factores, tanto relativos al diseño, como de tipo constructivo y de ejecución, se hace evidente la necesidad de evaluar experimentalmente las tipologías constructivas más usuales con el fin de disponer de datos de partida fiables y poder así predecir, en alguna medida, el valor de aislamiento que se obtendrá por semejanza con lo ya conocido.

De igual forma, en relación con el acondicionamiento acústico de las salas, existen unas leyes generales y unos procedimientos más o menos contrastados que permiten formar un criterio a la hora de optar por una u otra solución. Sin embargo, no se tiene la certeza de que el resultado sea el buscado. Por tanto, aun en los casos en que se hayan adoptado las soluciones de diseño y constructivas adecuadas, en función del uso, se hace necesario contrastar o comparar con los valores experimentales que se producen una vez finalizada la obra. Esta línea de comprobaciones “in situ” la viene efectuando nuestro grupo desde hace una decena de años, con recintos de uso diverso, tanto para la docencia, la industria o la vivienda.

Desde el punto de vista de la buena acústica, un aula debería poseer un tiempo de reverberación  $T_R$ , del orden de 0,6 segundos, cuando está a media ocupación. De no ser así, en la medida que el  $T_R$  empieza a superar este valor, comienza a notarse una falta de inteligibilidad del mensaje oral, trayendo en consecuencia una mala interpretación de los conceptos que el profesor/hablante explica en la clase.

El ruido de fondo generalmente se debe a ruidos provenientes del exterior del aula ( ruido de tráfico, ruidos de conversaciones en pasillos u otras zonas comunes, etc.) o ruidos del interior (murmullos entre los propios alumnos, sistemas de aire



acondicionado, movimiento de sillas, etc.). Es evidente que, cuando el Nivel de Ruido de Fondo (**BNL, Background Noise Level**) supera un cierto valor (**35dBA**), nuevamente la comprensión de un mensaje se torna difícil, ya que las palabras del profesor pueden ser interferidas por los ruidos que llegan, tanto externos como internos.

Ambos factores son los que determinan básicamente la calidad acústica de las salas que serán destinadas a la enseñanza y el aprendizaje.

Un factor fundamental, que afecta la comunicación en las aulas, es la *inteligibilidad*, que se define como el porcentaje de palabras correctamente interpretadas por el oyente. Se aconseja que, en general, el índice de inteligibilidad sea superior al 80%. La inteligibilidad está relacionada con el tiempo de reverberación  $T_R$  y con el ruido de fondo BNL. Para mejorar la inteligibilidad se deberán acortar los  $T_R$  y aumentar la relación señal-ruido dentro del aula en unos 15 dB, aproximadamente.

A continuación se hace un breve resumen de las condiciones reales en que se encuentran las aulas de enseñanza desde el punto de vista acústico, obtenidas a partir de las medidas realizadas por diferentes grupos, entre ellos el nuestro, tanto en España como en otros países.

## 5.2 Resultados de trabajos realizados en España

### 5.2.1 Obtenidos a partir de la bibliografía

Los trabajos aportados corresponden a aquellos casos en los que se han investigado las características acústicas de aulas que pueden considerarse típicas, y por lo tanto, representativas de la mayoría de los edificios escolares existentes en las ciudades de nuestro país. En las medidas experimentales realizadas en dichos trabajos se determinaron valores de los principales parámetros acústicos que deben tenerse en cuenta para el diseño y la construcción de edificios destinados a las actividades docentes.

Los resultados obtenidos fueron comparados con las condiciones exigibles a los elementos constructivos especificadas en la NBE-CA-88 edificios de usos docentes:

Paredes separadoras entre aulas (artº. 11): .....	R = 45 dBA
Paredes que separan las aulas de las zonas comunes (artº. 12): .....	R = 45 dBA
Fachadas (artº. 13): .....	R = 30 dBA
Elementos horizontales (artº. 14): .....	R = 45 dBA

En la siguiente tabla se recogen, muy resumidos, los resultados del cálculo de aislamientos de aulas de distintos centros educativos de Madrid, Valencia, Valladolid, León y Navarra [CEPE00] [CEPE01] [GONZ92] [SOLB96] [SURE02] [VELA97]:

AISLAMIENTO ACÚSTICO R (dBA)					
	Máximo	Mínimo	Medio	NBE-CA-88	% casos incumplen NBE
<b>Entre aulas</b>	55	32	44	45 dBA	<b>50%</b>
<b>Aulas – Zonas comunes</b>	48	16	32	45 dBA	<b>93%</b>
<b>Fachadas</b>	59	23	41	30 dBA	<b>30%</b>
<b>Forjados</b>	67	47	57	45 dBA	<b>0%</b>
<b>Ruido de Impacto</b>	72	39	55	80 dBA	<b>0%</b>
<b>Leq exterior (dBA)</b>	75	51	63		
<b>Leq interior (dBA)</b>	64	48	56		
<b>Ruido de fondo (dBA)</b>	55	28	42	35	<b>60%</b>

Los anteriores resultados permiten hacer las siguientes consideraciones:

El valor medio del índice de aislamiento de las particiones de separación entre elementos verticales interiores es muy inferior a los 45 dBA que se indica en la NBE-CA-88 para estos elementos. Esto es así, porque las paredes más débiles acústicamente son las que limitan con los pasillos, debido a las faltas de estanqueidad y poca consistencia de las puertas de acceso.

Algo similar ocurre con las fachadas completas, pues si bien el R reflejado en la NBE no es elevado (30 dBA), a pesar de ello un 30 % no lo superan. Las fachadas sin ventanas tienen, como era de esperar, un índice de aislamiento medio superior al exigido por la norma, y sólo algunas de las que poseen ventanas superan este índice. Las particiones horizontales entre aulas son las que poseen mayores índices de aislamiento, con valores medios de 57 dBA. Por ello el 100 % de las medidas consultadas superan los 45 dBA establecidos en la NBE.

Los valores que toma el Tiempo de reverberación  $T_R$  presentan una dependencia típica con la frecuencia: Valores elevados a bajas frecuencias, y que disminuyen hasta hacerse constantes a partir de la banda de 500 Hz. Por ser los más importantes de cara a la inteligibilidad, se presentan los resultados para esta banda en la siguiente tabla:

	TIEMPO DE REVERBERACIÓN $T_R$ (s)				
	Máximo	Mínimo	Medio	Propuesto	% superan valor propuesto
<b>T60</b> (s)	2	0,75	1,4	0,6	<b>100%</b>
<b>EDT</b> (s)	2,75	0,8	1,7	0,6	<b>100%</b>
<b>RASTI</b>	0,73	0,34	0,54	>0.7	<b>75% &lt; 0.7</b>
<b>VOLUMEN</b> (m <sup>3</sup> )	530	121	326		
<b>SUPERFICIE</b> (m <sup>2</sup> )	169	44	107		

Si se tiene en cuenta que el  $T_R$  óptimo para el caso de salas para transmisión de la palabra, con volúmenes menores de 340 m<sup>3</sup>, está en torno a los 0,6 s para una frecuencia de 500 Hz, a la vista de los valores que se exponen en la tabla anterior, se puede afirmar que la calidad del acondicionamiento acústico de las salas deja mucho que desear. La conclusión más importante es que en estas condiciones, si bien puede ocurrir que la energía sonora emitida por el orador llegue a los distintos puntos de la sala, sin embargo el mensaje será de difícil comprensión por parte del oyente, dada la alta reverberación que se produce.

Según los valores obtenidos para los EDT (Early Decay Time, Tiempo de Reverberación Temprano), efectuando un análisis similar al realizado para el caso de los  $T_R$  se llega a la conclusión de que la caída del sonido es demasiado lenta para el uso previsto de las aulas. Ello supone que, si no se modifica la superficie de las paredes, incorporando materiales absorbentes en puntos estratégicos, o sobre toda la piel de la sala siguiendo unos criterios adecuados, la calidad auditiva de la señal sonora será muy deficiente.

### 5.2.2 Medidas del Grupo de Acústica Aplicada del Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal de la Universidad de Alicante

Los datos que se muestran a continuación, correspondientes a medidas de aislamiento y acondicionamiento acústicos, se refieren en su totalidad a edificios dedicados a la docencia en la Universidad de Alicante, y al menos en dos tipos de aulas distintas en cada recinto. Por lo que consideramos que se dispone de suficiente información sobre todos los tipos de soluciones constructivas que se puedan dar normalmente a los cerramientos. De igual manera ocurre con el mobiliario, decoración y aspectos formales en los tratamientos de acabados superficiales y materiales empleados, y por supuesto de la relación de sus elementos con el entorno [YEBR02].

Los parámetros que se han tenido en cuenta en las medidas realizadas en este estudio son los siguientes:

- Aislamientos estandarizados ponderados  $D_{nT_w}$  y  $L'_{nT_w}$ .
- $T_R$ , EDT y RASTI.

A continuación sólo se presentarán los datos correspondientes a los aislamientos y a los tiempos de reverberación, para así poder hacer una comparativa con los resultados encontrados en la bibliografía, independientemente del interés que puede tener en el análisis de una sala la distribución de modos propios, la distribución de niveles de presión sonora a lo largo de la sala, o bien la presencia de ecos. En la Parte 6 se hará una mención a estos últimos parámetros como elementos que permiten “refinar” la acústica de un aula.

Los valores que se muestran son los promedios para toda la muestra estudiada, siendo de señalar que las aulas medidas estaban sin ocupar por alumnos.

	AISLAMIENTO ACÚSTICO (dBA)					
		Mínimo	Medio		NBE-CA-88	% desacuerdo con NBE
<b>Entre aulas</b>	55	32	44	7.5	45 dBA	<b>50%</b>
<b>Aulas y Zonas comunes</b>	48	26	34	5.1	45 dBA	<b>95%</b>
<b>Fachadas</b>	59	34	46	8.6	30 dBA	<b>0%</b>
<b>Forjados</b>	61	53	57	2.4	45 dBA	<b>0%</b>
<b>Ruido de impacto</b>	49	39	44	3.4	80 dBA	<b>0%</b>

	TIEMPO DE REVERBERACIÓN $T_R$ (s)					
	Máximo	Mínimo	Medio	típica	Propuesto	% desacuerdo con NBE
<b>T60 (s)</b>	2.00	0.75	1.43	0.38	0.8	<b>90%</b>
<b>EDT (s)</b>	1.61	0.59	1.13	0.31	0.6	<b>90%</b>
<b>RASTI</b>	0.73	0.50	0.60	0.5	>0.7	<b>90%</b>

Como puede observarse, los aislamientos más deficientes son los que corresponde a las particiones entre el aula y zonas comunes (pasillos sobre todo), de manera análoga a la encontrada en los resultados de la bibliografía. A destacar también el alto grado de desacuerdo con la NBE en lo que se refiere a la reverberación de las salas, y eso a pesar de que los valores prescritos en dicha norma están lejos de ser los ideales.

### 5.2.3 Resultados de medidas realizadas en otros países

Las medidas que se presentan en este apartado corresponden a aulas de centros educativos de Argentina, Chile y Francia, todas ellas elegidas como representativas para realizar un estudio previo de posibles deficiencias acústicas [HAGE02] [LAVA02] [LOUW02] [MAST02] [MEND02].

En las aulas argentinas se calculó el aislamiento acústico siguiendo las normativas:

Norma IRAM 4063, *Transmisión de sonido en edificios. Métodos de medición*, 1982.

Norma IRAM 4043, *Aislamiento del sonido en edificios*, 1984.

	AISLAMIENTO ACÚSTICO (dBA)			
	Máximo	Mínimo	Medio	NBE-CA-88
Entre aulas			41	45 dBA
Aulas y zonas comunes			25	45 dBA
Fachadas				30 dBA
Forjados				45 dBA
Ruido de impacto				80 dBA
Leq exterior (dBA)				
Leq interior (dBA)	76	62	69	
Ruido de fondo (dBA)			43	35

	TIEMPO DE REVERBERACIÓN $T_R$ (s)				
	Máximo	Mínimo	Medio	Propuesto	% superan valor propuesto
T60 (s)	2,79	0,36	1,64	0,6	50%
EDT (s)			1,69	0,6	
RASTI			0,51	>0.7	
VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	354	57	205		
SUPERFICIE(m <sup>2</sup> )					

Los tiempos de reverberación determinados acusan valores muy superiores a los considerados altos por diversos especialistas y normativas. Los  $T_R$  deberían reducirse mediante el tratamiento acústico de las aulas con materiales absorbentes. Las curvas  $T_R$  en función de la frecuencia deben bajarse a valores que, idealmente, deberían acercarse a 0,4 s y que de ninguna manera superen los 0,7 s, buscando lograr una curva plana en el rango de frecuencias del habla: 250 a 2000 Hz.

Por otra parte, puede observarse que los valores de aislamiento entre aulas y zonas comunes, para el rango de frecuencias estudiado son de, aproximadamente, 25 dB. Por lo tanto, estos valores resultan inferiores a los mínimos recomendados por las normas internacionales.

Se demuestra que las características constructivas de los edificios no tienen en cuenta un diseño apropiado para lograr condiciones acústicas favorables que coadyuven al mejoramiento de este importante aspecto del proceso enseñanza-aprendizaje, encontrándose los parámetros analizados muy por encima de los criterios aconsejados por diferentes investigadores en la literatura abierta internacional.

En las dos páginas que siguen, se han reunido todos los datos referidos a las distintas aulas que se han mencionado en las páginas anteriores.

En la primera Tabla se presentan los datos referentes al aislamiento acústico, mientras que en la segunda se hace lo mismo con el acondicionamiento acústico de todas las aulas consideradas.





		TIEMPO DE REVERBERACIÓN (s) e INTELIGIBILIDAD				GEOMETRÍA		
		T60 (ocupado)	T60	EDT	RASTI	Volumen (m <sup>3</sup> )	Superficie (m <sup>2</sup> )	Nº alumnos
	<b>NBE-CA-88</b>		0,6	1,6	> 0,7			
<b>Alicante</b>	Máximo		2	0,6	0,73	464	169	
100 aulas	Mínimo		0,75	0,6	0,5	204	74	
	Medio		1,4	1,1	0,6	334	121	
	% no cumple		100	100	75			
	Máximo		2,4		0,56	990	360	400
<b>Navarra</b>	Mínimo		1,2		0,34	121	44	32
97 aulas	Medio		1,8		0,45	555	202	184
	% no cumple		100		100			
	Máximo		1,92	1,57		346		
<b>Valladolid</b>	Mínimo		0,84	0,86		172		
12 aulas	Medio		1,38	1,22		259		
	% no cumple		100	100				
	Máximo							
<b>León</b>	Mínimo							
34 aulas	Medio		2,3		0,40	160		
	% no cumple		100		100			
	Máximo			2,64				
<b>Valencia</b>	Mínimo			2,51				
32 aulas	Medio			2,57				
	% no cumple			100				
	Máximo			2,75				
<b>Valencia</b>	Mínimo			1,47				
20 aulas	Medio			2,11				
	% no cumple			100				
	Máximo			2,72	0,45	530	149	
<b>Madrid</b>	Mínimo			1,94	0,39	313	88	
7 aulas	Medio			2,33	0,42	422	119	
	% no cumple			100	100			
	Máximo	1,57	2,79			249	76,5	38
<b>Argentina</b>	Mínimo	1,45	1,63			112	35	10
8 aulas	Medio	1,51	2,21			181	56	24
	% no cumple	100	100					
	Máximo		1,76			354		
<b>Chile</b>	Mínimo		0,36			57		
60 aulas	Medio		1,07			205		
	% no cumple		50					
	Máximo							
<b>Francia</b>	Mínimo							
	Medio			1,69	0,51			
	% no cumple							

### 5.3 Conclusiones conjuntas de las medidas experimentales

De acuerdo con los resultados obtenidos y las comparaciones efectuadas, se ve claramente que los edificios escolares resultan altamente inapropiados para las actividades de enseñanza y aprendizaje, desde el punto de vista de las condiciones acústicas imperantes. En efecto, los tiempos de reverberación  $T_R$ , los distintos aislamientos y los ruidos de fondo están muy alejados de los valores recomendados en la normativa actual, tanto nacional como internacional.

1ª.- Con respecto a la problemática del aislamiento, se puede decir que aunque los valores indicados en la NBE-CA 88 se pueden considerar, en una primera aproximación, suficientes, es necesario aquilatar esos parámetros de protección con exigencias constructivas de mayor calidad (tipo de vidrio y carpintería, presencia de puertas dobles...) que permitan alcanzar una buena relación Señal/Ruido (lo que puede conseguirse con una curva Noise Criteria  $NC < 25$ ).

2ª.- La valoración del entorno sonoro de las aulas depende, tanto de la ubicación del edificio escolar (con el consiguiente impacto del ruido medioambiental), como de los usos internos de los recintos fronterizos con las 'salas de clase' (pasillos, patios, distribuidores, servicios, vestíbulos...). Por ello, aparte de la protección por distancia o por barreras arquitectónicas a las fuentes de ruido exterior clásicas, se debería de tener en consideración el resto del potencial acústico contaminante que usualmente se produce en el interior del propio edificio. Y dictar normativas tendentes tanto a aislar como a acondicionar dichos elementos. Todo esto, dicho con la misma pretensión que en el párrafo precedente ( $NC < 25$ ). Aunque se debería reflexionar también sobre la conveniencia de mitigar el desasosiego que produce el efecto 'cocktail' en las zonas de convivencia e interrelación.

3ª.- Para finalizar, se abordará lo relativo a la inteligibilidad en función de parámetros internos del aula. Las cuestiones de forma no han sido determinantes en los resultados obtenidos, puesto que en ningún caso se han encontrado elementos que intencionadamente tengan alguna bondad acústica. Simplemente, las geometrías se adecuaron a la capacidad deseada en cada momento o al sentido modulador del aprovechamiento del suelo en función de una estética global.

Lo mismo se puede decir de la calidad acústica de los materiales y mobiliario presente, ya que los criterios, si los hubo, fueron de durabilidad, resistencia y economía. En ningún caso parece que haya habido una reflexión sobre la indudable importancia que tienen estos recintos en la comunicación y por supuesto en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que es su única razón de existir. Por lo que es necesario que los proyectistas dispongan de pautas a seguir y herramientas objetivas que les conduzcan a diseños de excelencia acústica incuestionable.

La solución global de este problema se podría encontrar si cualquier proyecto de edificación escolar futuro tuviera en cuenta todas las pautas siguientes, todo ello en consonancia con los criterios de valoración propuestos en nuestro trabajo experimental [YEBR02].

- 1) Valoración de la capacidad aislante de los cerramientos ciegos.
- 2) Calidad especial para las situaciones con cerramientos mixtos.
- 3) Estudio medioambiental de la zona de ubicación. Límites de inmisión.
- 4) Acondicionamiento y protección de las zonas comunes.
- 5) Balance de Niveles de presión sonora, refuerzos geométricos.
- 6) Soluciones propuestas a las deficiencias de forma (Ecos, modos propios)
- 7) Tiempo de reverberación en función de la Inteligibilidad.

Las conclusiones permiten afirmar que *es importante adoptar urgentemente acciones correctivas y normativas que permitan una rápida mejora de la calidad acústica que presentan actualmente las aulas y provean una legislación acorde para futuras construcciones.*

## **6. RESUMEN FINAL : CONCLUSIONES, VALORACIONES Y PROPUESTAS**

A la vista de lo expuesto en los apartados anteriores, el panorama actual que presentan las aulas de enseñanza, desde un punto de vista acústico, es bastante negativo, aunque es de resaltar que en los últimos tiempos ha crecido la sensibilidad ante el problema, sensibilidad que, en algunos casos (ver apartado 4.2 en lo referente a los Estados Unidos de América) ha sido estimulada por las circunstancias que afectan a ese segmento de población tan importante como son los discapacitados auditivos, y que, al reclamar sus legítimos derechos a no ser discriminados, han obligado a los organismos públicos a intervenir en el proceso planeamiento-diseño-construcción de los centros escolares, para dotarlos de unas condiciones acústicas dignas que, es preciso repetirlo una vez más, no sólo irán en beneficio de una minoría sino que también incidirán sobre todos los escolares.

Como concreción de las ideas que se han ido manejando a lo largo del documento, y basándonos en nuestra propia experiencia se va a desarrollar en este último apartado unas propuestas, que sirvan a modo de guías de diseño de un aula-tipo o aula “ideal”, porque respondería a la opinión extendida entre los especialistas de cómo debe ser un aula.

Los parámetros necesarios y suficientes que deben intervenir en el diseño del aula escolar se estiman son las siguientes:

- Factores relativos a la ubicación del aula dentro del edificio escolar y de éste último respecto al exterior.
- Factores geométricos del aula
- Factores que afectan al aislamiento acústico de los cerramientos del aula
- Factores que afectan las condiciones del campo sonoro interior del aula ( acondicionamiento acústico)

### **6.1 Ubicación, entorno sonoro, ruido ambiente exterior**

La edificación escolar, que contenga al aula ideal, se da por supuesto que se encuentra inmersa en un ambiente urbano. Y aunque no lo esté actualmente, habrá que pensar que así sea con el paso del tiempo, dado el proceso de urbanización imperante en la mayor parte de los países.

Ello implica la necesidad de proveer un apantallamiento en los límites del campo escolar, para así proteger del ruido urbano en general, del ruido de tráfico automóvil, ferroviario o aéreo, o del ruido de las actividades industriales cercanas. Dicho apantallamiento puede ser directamente físico, mediante el diseño de barreras arquitectónicas materiales (terraplenes, pantallas acústicas, ...), o bien puede ser indirecto, como el que se puede conseguir de un planteamiento urbanístico racionalista, donde los límites del campo escolar no se definen simplemente con una verja, sino que éste se extiende más allá y se rodea de zonas de tranquilidad acústica, no transitables por vehículos de motor, exentos de focos industriales, alejados de paso de aeronaves, etc...

Por otra parte, también se debe tener en cuenta el inevitable ruido que genera la propia actividad de un centro escolar (campos de deporte, patios de juego, etc). Por lo que la orientación de las aulas no debe ser ni directamente abocadas hacia los focos de actividad urbana o industrial, ni directamente sobre las zonas de esparcimiento y convivencia internas del centro.

Esto se debe intentar corregir con una adecuada distribución de los diversos edificios que componen el centro escolar. Y de las posiciones relativas de las estancias dentro de cada edificio, poniendo siempre especial cuidado en aquellas salas de acústica más sensible.

Con todo lo mencionado, se puede suponer que la situación más desfavorable que se puede tolerar para nuestras condiciones de diseño, es que el Nivel Máximo de presión sonora del ruido que puede incidir en la fachada del aula deberá ser

$$L_{\text{ext,Max}} = 55 \div 65 \text{ dBA}$$

Si esto es así, el nivel de ruido de fondo en el aula, con las ventanas cerradas, en funcionamiento los sistemas de aire acondicionado o de renovación de aire, debe corresponder a una curva de ruido Noise Criteria  $NC = 20 \div 25 \text{ dBA}$ , o a un nivel sonoro continuo equivalente de entre 30 y 35 dBA.

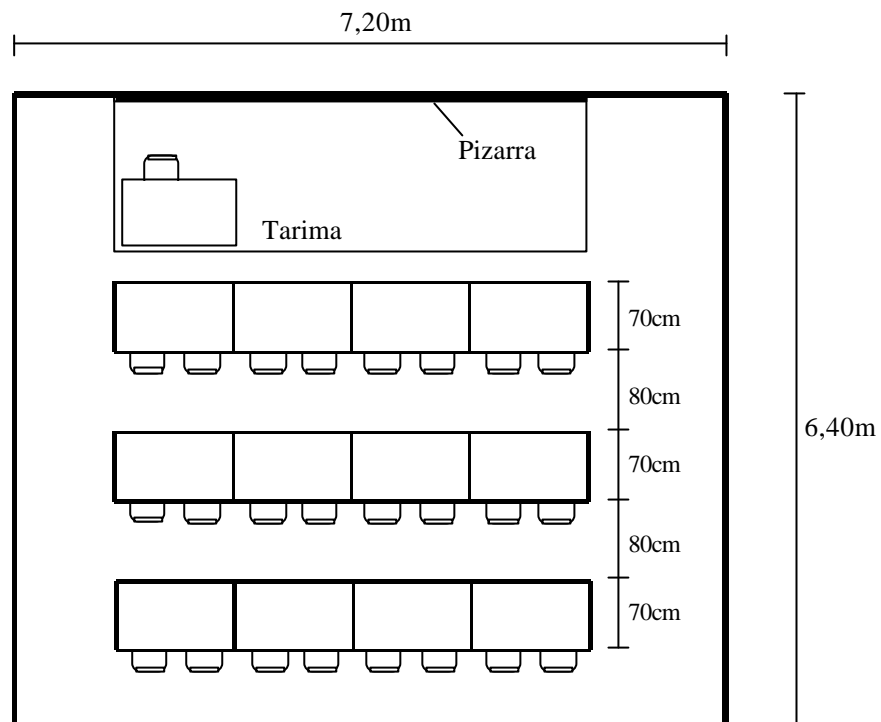
## 6.2 Factores geométricos del aula

Las aulas tendrán una capacidad aproximada de unos 25 alumnos, lo que está dentro de los índices de ocupación que actualmente se observan en las enseñanzas primaria y media.

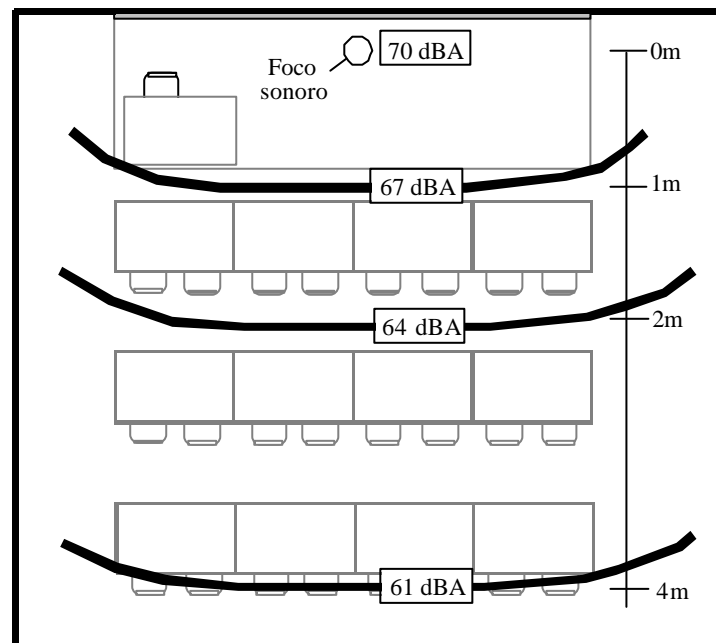
En la cuestión de la forma, se opta por aulas de planta rectangular, que tiene una fácil inserción modular dentro del desarrollo de cualquier proyecto arquitectónico escolar; siendo el lado donde se sitúa la pizarra tan largo como lo permita el confort visual de los alumnos; y con una profundidad tal que la disminución del nivel de presión sonora entre las primeras filas y las últimas no sea elevado ( $< 6 \text{ dBA}$ ). Y, por supuesto, que esta dimensión no sea mayor de unos  $7,5 \div 8,0 \text{ m}$ , para evitar la presencia de ecos.

Por ello, unas dimensiones típicas pueden ser:  $7,20 \text{ m}$  (ancho) x  $6,4 \text{ m}$  (largo) x  $3 \text{ m}$  (alto). El volumen del aula será entonces de unos  $138 \text{ m}^3$ , y la superficie en planta de  $46 \text{ m}^2$ .

La planta de un aula como la propuesta se muestra en la figura siguiente:



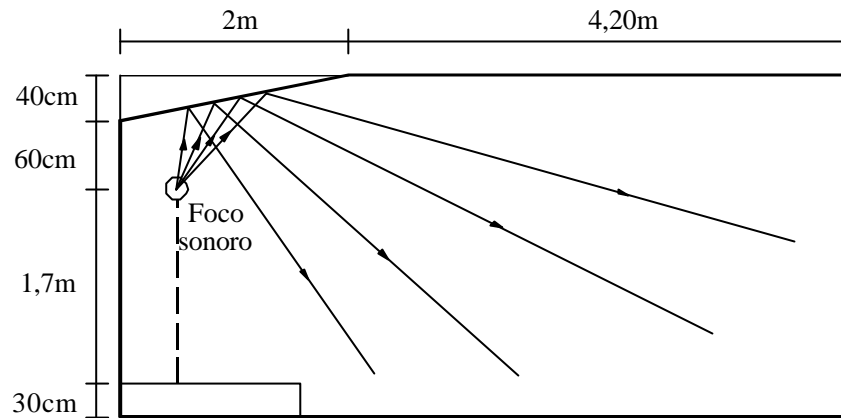
La geometría planteada permite que en el fondo del aula haya un nivel sonoro de unos 61 dBA (bastante por encima del ruido de fondo, que debe ser de unos 30-35 dBA), y que la diferencia de niveles entre los primeros bancos y los últimos es  $< 6$  dBA:



Se ha supuesto que el profesor (foco sonoro) habla con un nivel sonoro de 70 dBA y que a 1 m de distancia este nivel es de 67 dBA, y que, a continuación, el nivel de

sonido disminuye 3 dBA al duplicarse la distancia, supuesto que asumimos debido a que el aula no es un campo sonoro libre.

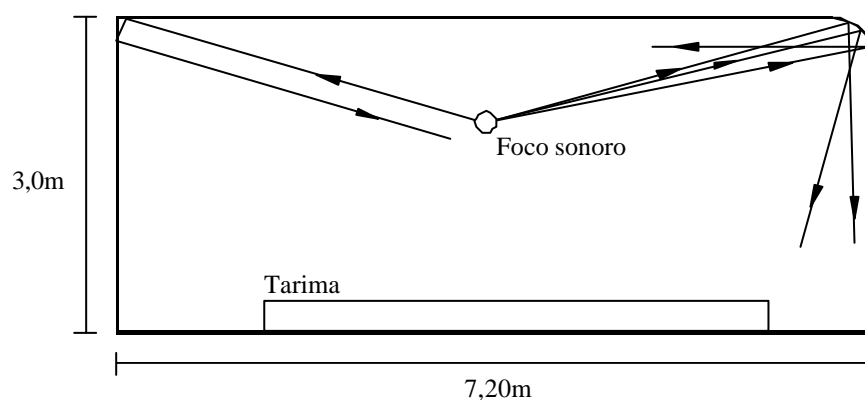
Para redireccionar la energía sonora hacia el fondo del aula, se propone una superficie reflectora encima de la tarima del profesor, de la manera y dimensiones que se muestran en la figura, donde se muestra una sección del aula:



Con esta propuesta se asegura:

- Ausencia de ecos
- Buena visibilidad para los alumnos
- Posibilidad de direccionamiento de la energía
- Y que no hayan más de 6 dBA de disminución en la presión sonora entre los puntos más favorables y los más desfavorables del aula.

Un mayor refinamiento sería el de asegurar una mayor difusión del sonido, lo cual se puede conseguir redondeando las esquinas de la sala, tal como se indica en la figura, donde se compara lo que ocurre si las esquinas son rectas o si son redondeadas.



Como puede observarse, en una esquina o rincón recto el rayo sonoro vuelve paralelamente a su dirección original, por lo que la energía sonora es reflejada en la misma dirección incidente. Por el contrario, en una esquina o rincón redondeado los



rayos sonoros reflejados lo son en múltiples direcciones, con lo cual se reparte mejor la energía sonora por toda la sala. En todo caso, los alumnos con discapacidad auditiva deben colocarse lo más cerca del profesor, para asegurar la mejor relación señal/ruido.

### 6.3 Factores relacionados con el aislamiento acústico

El modo de atender el problema parte de consideraciones reales (no normativas) como son el valor del BNL (Background Noise Level, Nivel de Ruido de fondo) o las NC (Noise Criteria), aconsejado para aulas de enseñanza, con tendencia a maximizar estos valores, para que se contemple desde el punto de vista de la situación de los niños con problemas auditivos.

Por ello, proponemos unos valores del BNL y una NC como los siguientes:

$$\text{BNL} \leq 40 \text{ dBA};$$

$$20 \text{ dBA} < \text{NC} < 25 \text{ dBA}$$

Para asegurar un cierto grado de privacidad (sin disminuir la inteligibilidad por debajo del 90 %), el nivel de presión sonora de un orador a 1 m debe estar en el intervalo  $65 \div 70$  dBA, y el conjunto de índices que definen el aislamiento tener los valores siguientes:

$$\text{Aislamiento a ruido aéreo entre aulas} : \geq 45 \text{ dBA}$$

$$\text{Ruido de impacto normalizado entre aulas} : \leq 60 \text{ dBA}$$

$$\text{Aislamiento a ruido aéreo entre el aula y los espacios comunes} : \geq 45 \text{ dBA}$$

$$\text{Aislamiento a ruido aéreo entre el aula y el exterior} : \geq 30 \text{ dBA}$$

La problemática de los pasillos y zonas comunes del edificio escolar radica en que estos lugares no se tratan de ninguna forma, puesto que parecen no formar parte del aula pero son, en realidad, una continuación de ésta, con un gran valor social y también un más que posible foco de contaminación sonora de difícil control. Por ello, dichos lugares deberán estar correctamente acondicionados para bajar su potencialidad reverberante con lo que se podrá conseguir hasta una disminución de entre 3 y 8 dBA del ruido que allí se pueda generar.

También es importante evitar la formación de grupos informales en las inmediaciones del aula, ya que su charla puede molestar a los alumnos que se encuentren en su interior.

Otro factor a considerar es la disminución en la capacidad de aislamiento de la pared separadora aula-pasillo por la presencia de las puertas de acceso al aula, por lo que es conveniente diseñar sistemas de puertas dobles, única manera de conseguir que su aislamiento sea  $\geq 45$  dBA.

Es obvio que es necesario controlar los ruidos de las instalaciones, los provenientes de cuartos de aseo cercanos, donde el ruido de la descarga de las cisternas puede ser demasiado intrusivo, las cañerías, las entradas del aire acondicionado, etc.

#### **6.4 Factores relativos al acondicionamiento acústico del aula**

Es necesario decidir, a nivel de proyecto, los siguientes aspectos:

- a) Cuáles deben ser los materiales de acabado de los cerramientos del aula: paredes, techo y suelo, lo que permite definir la textura interior del recinto
- b) Tipo de mobiliario a emplear junto con el resto de enseres necesarios para realizar la actividad que allí se va a desarrollar
- c) Prever el tiempo de reverberación que se considere idóneo y la tener en cuenta la necesidad de que se produzca una uniformidad en la distribución de la energía sonora. Por lo tanto, nuestra aula ideal debe tener un tiempo de reverberación de entre 0,3 y 0,5 s (con alumnos), lo cual hará necesario el uso de materiales absorbentes

Se procurará que los 2/3 iniciales del aula sean reflectantes al 100 %, reservando los materiales absorbentes en el 1/3 final y sobre la pared del fondo del aula. Para eliminar frecuencias propias resonantes se procurarán eliminar las dos esquinas de la parte trasera, redondeándolas o aumentando el número de planos, con el fin de conseguir una especie de sistema atrapabajos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [ADER77] **J. Ader**, *La escuela de opciones múltiples: sus incidencias sobre las construcciones escolares*, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid 1977
- [ALDE72] **A.G. Aldesey-Williams**, *A simple graphical method for assesing the acceptability of speech privacy*, Proc. Brit. Acoust. Soc. (1972)
- [ANSI02] *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*, ANSI S12.60-2002
- [ARRE99] Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation (Journal Officiel de la République Française 17-07-1999)
- [ATAL65] **B.S. Atal**, **M.R. Schroeder** y **G.M. Sessler**, *Subjetive reverberation time and its relation to sound decay*, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Congr. Acoust. **1b**, G32 (1965)
- [AVEL81] **J. Avellaneda**, **J.M. Gener**, **J. Martorell** y **S. Vives**, *Directrius per a la redacció de projectes i de execució*, Jornades sobre edificació escolar-9 i 10 desembre de 1981-, Servei de Publicacions de la Generalitat de Catalunya, Barcelona 1981
- [BB93] **British Bulletin 93**, *Acoustic Design of Schools*, [http:// www.teachernet.gov.uk /Management/ResourcesFinanceandBuilding/premises/...](http://www.teachernet.gov.uk/Management/ResourcesFinanceandBuilding/premises/)
- [BOLT50] **R.H. Bolt**, **P.H. Doak** y **P.J. Westervelt**, *Pulse statistics analysis of room acoustics*, J. Acoust. Soc. Am. **22**, 328-340 (1950)
- [BRAD85] **J.S. Bradley**, *Uniform derivation of optimum conditions for speech in rooms*, BRN **239**, National Research Council of Canada, Ottawa 1885
- [BRAD86] **J.S. Bradley**, *Predictors of speech intelligibility in rooms*, J. Acoust. Soc. Am. **80**, 837-845 (1986)
- [CAST74] **B. Castaldi**, *Diseño de Centros Educativos*, Editorial Pax-México, México 1974
- [CAVA62] **W.H. Cavanaugh**, **W.R. Farrell**, **P.W. Hirtle** y **B.G. Watters**, *Speech privacy in buildings*, J. Acoust. Soc. Am. **34**, 475-492 (1962)
- [CEPE00] **J. Cepeda**, **E. García**, **B. Melcón**, **M.I. Vidal** y **L. Álvarez**, *Caracterización del aislamiento acústico en un instituto de educación secundaria*, XXXI Congreso Nacional de Acústica (Tecniacústica 2000), Madrid, octubre 2000
- [CEPE01] **J. Cepeda**, **E. García** y **B. Melcón**, *Análisis de las condiciones de inteligibilidad en un centro de enseñanza*, XXXIII Congreso Nacional de Acústica (Tecniacústica 2001), Logroño, octubre 2001

- [CHAS93] **S. Chassagne**, *El edificio escolar en Francia en el siglo XIX. Informe de investigación*, Historia de la Educación (Univ. de Salamanca) **12-13**, 569-572 (1993-94)
- [CICC75] **C. Cicconcelli**, *Gli edifici per l'istruzione e la cultura*, Architettura Pratica Vol. III, Tomo II, P. Carbonara (ed.), Edit. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino 1975
- [CONS91] **Consejería de Educación y Ciencia**, *Recomendaciones sobre el diseño de los edificios de uso docente*, Junta de Andalucía, Sevilla 1991
- [DAC02] Documento de Aplicación del Código (DAC), HR Protección contra el ruido, Ministerio de Fomento, 2002 (Documento de Trabajo)
- [DIRE02] Directives et Recommandations concernant les constructions scalaires (edition juillet 2002), Département de la Formation et de la Jeunesse.
- [DIRE12] **Dirección General de Primera Enseñanza**, *Planos Modelos de Escuelas Graduadas, con presupuestos reducidos*, Imprenta del Colegio Nacional de Sordomudos y Ciegos, Madrid 1912
- [DM75] Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica* (con le modifici introdotte dal D.M. 13.9.1977)
- [DPCM] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997, *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici* (Gaceta Ufficiale, 22.12.1977)
- [DRUL95] **R. Drullman**, *Speech intelligibility in noise: Relative contribution of speech elements above and below the noise level*, J. Acoust. Soc. Am. **98**, 1796-1798 (1995)
- [DUAR92] **M. Duarte**, *50 años de construcciones escolares en la provincia de Badajoz: 1960-1970 la década del desarrollo*, Caudal **5**, 13-17 (1992)
- [ESTE94] ] **L. Esteban** y **R. López Martín**, *Historia de la Enseñanza y la Escuela*, Editorial Tirant lo Blanc, Valencia 1994
- [FERN90] **C. Fernández-Montesinos**, *El espacio en la educación infantil (orientaciones arquitectónicas)*, Comunidad de Madrid-Consejería de Educación, Madrid 1990
- [FREN47] **N.R. French** y **J.C. Steinberg**, *Factors governing the intelligibility of speech sounds*, J. Acoust. Soc. Am. **19**, 90-119 (1947)
- [GARC94] **A. Garcia Quismondo**, *Estudio experimental del aislamiento a ruido aéreo de las carpinterías exteriores en las construcciones arquitectónicas*, Trabajo Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior (Universidad de Alicante) 1994

[GONZ92] **J. González e I. Sánchez**, *Estudio de las condiciones acústicas en recintos destinados a aulas*, Jornadas Nacionales de Acústica (Tecniacústica 1992), Logroño, noviembre 1992

[HAGE02] **M. Hagen, L. Huber y J. Kahlert**, *Acoustic school design*, FORUM ACUSTICUM (3rd European Congress on Acoustics) (Tecniacústica 2002), Sevilla, septiembre 2002

[HEPP02] **Ch. Heppner**, *Classroom Acoustics* (Update News), 2002, <http://nvrc.org/Conferences%20and%20Workshops/shhh4.htm>

[HIRS54] **I.J. Hirsh, E.G. Reynolds y M. Joseph**, *Intelligibility of different speech materials*, J. Acoust. Soc. Am. **26**, 530-538 (1954)

[INST69] **Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento**, *Normas Acústicas en la Edificación*, Patronato de Investigación Científica y Técnica "Juan de la Cierva", CSIC, Madrid 1969

[KERS93] **Ch. Kersting y H. Schmidt-Thomsen**, *Arquitectura escolar en Berlín a comienzos del siglo XX. Curriculum oculto y género*, Historia de la Educación (Univ. de Salamanca) **12-13**, 225-244 (1993-94)

[KORB02] **C. Korb**, *Quelques questions concernant la prise en charge des malentendants*, 2002, [http://perso.wanadoo.fr/astragale/corps\\_quelques\\_questions\\_.html](http://perso.wanadoo.fr/astragale/corps_quelques_questions_.html)

[LAHO92] **P. Lahoz**, *Higiene y arquitectura escolar en la España contemporánea (1838-1936)*, Revista de Educación **298**, 89-118 (1992)

[LAVA02] **C. Lavandier, M. Raimbault, D. Dubois y G. Ignazi**, *Acoustical quality of educational buildings*, FORUM ACUSTICUM (3rd European Congress on Acoustics) (Tecniacústica 2002), Sevilla, septiembre 2002

[LIET02] **L. von der Lieth**, *A survey of Conditions and Organisations of Hard of Hearing People in Europe- a State of the Art*, International Federation of Hard of Hearing People, 2002, <http://www.ifhoh.org/lieth.htm>

[LOCH60] **J.P.A. Lochner y J.F. Burger**, *Optimum reverberation time for speech rooms based on hearing characteristics*, Acustica **10**, 394-399 (1960)

[LOCH61] **J.P.A. Lochner y J.F. Burger**, *The intelligibility of speech under reverberant conditions*, Acustica **11**, 194-200 (1961)

[LOE99] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (BOE del 6 de noviembre de 1999)

[LOUW02] **C. Louwerse, A. Barlet y C. Semidor**, *Acoustic quality evaluation of young children's (0-6 years) spaces*, FORUM ACUSTICUM (3rd European Congress on Acoustics) (Tecniacústica 2002), Sevilla, septiembre 2002

[MARQ79] **J. Marquet**, Presentación (Organo de difusión del Consejo Superior de Arquitectos de España) **24**, 2-3 (1979)

[MAST02] **J. A. Mastroizzi, C. Montes de Barani, S. Amura y M.A. Mastroizzi**, *Estudio y pautas para el acondicionamiento acústico de aulas de edificios para la educación*, XXXI Congreso Nacional de Acústica (Tecniacústica 2000), Madrid, octubre 2000

[MEND99] **A. Méndez, A. Stornini, L. Ercoli y A. Azurro**, Caracterización sonora de aulas. un estudio de los principales parámetros acústicos en aulas argentinas, Jornadas Nacionales de Acústica (Tecniacústica 1999), Ávila, octubre 1999

[MILLG47] **G.A. Miller**, *Sensitivity to changes in the intensity of white noise and its relation to masking and loudness*, J. Acoust. Soc. Am. **19**, 609-619 (1947)

[MILLR47] **R.L. Miller**, *Masking effect of periodically pulsed tones as a function of time and frequency*, J. Acoust. Soc. Am. **19**, 798-807 (1947)

[MONT09] **M. Montessori**, *Escritos*, 1909 (citado en [CICC75])

[MORE94] **A. Moreno Saura**, *Establecimiento del mapa interior de niveles sonoros en una vivienda unifamiliar, función de la posición de una fuente sonora de espectro y nivel conocido*, Trabajo Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior (Universidad de Alicante) 1994

[MURC94] **A. Murcia Costa**, *Propagación en tres dimensiones del ruido estructural en las construcciones arquitectónicas*, Trabajo Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior (Universidad de Alicante) 1994

[NAVA93] **M.R. Navarro Maestre**, *Estudio de la transmisión al ruido aéreo a través de los cerramientos verticales. Cumplimiento de la normativa vigente sobre viviendas*, Trabajo Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior (Universidad de Alicante) 1993

[NEWM62] **R.B. Newman**, *Some common sense for school acoustics*, Arch. Rec. **7**, 154-156 (1962)

[NIET90] **A. Nieto**, *Las construcciones escolares en Valladolid (1900-1936)*, Historia de la Educación (Univ. de Salamanca) **9**, 255-275 (1990)

[NOIS81] Noise Effects Handbook, US Environmental Protection Agency, julio 1981, <http://www.nonoise.org/library.htm>

[ORDE64] **Orden del Ministerio de Educación Nacional** de 31-10-1964, por la que se aprueban las *Instrucciones para la redacción de Proyectos de Edificios destinados a Centros Oficiales de Enseñanza Media* (B.O.E. ¿-11-1964)

[ORDE71] **Orden del M.E.C.** de 10-2-1971, por la que se aprueban los *Programas de Necesidades docentes para la redacción de los proyectos de Centros de EGB y de BUP* (B.O.E. ¿-2-1971)

[ORDE73] **Orden del M.E.C.** de 17-9-1973, por la que se aprueban los *Programas de Necesidades docentes para la redacción de los proyectos de Centros de EGB y de BUP* (B.O.E. 1-9-1973)

[ORDE88] **Orden de 29 de septiembre de 1988** por la que se aclaran y corrigen diversos aspectos de los anexos a la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-82 sobre "*Condiciones Acústicas de los edificios*" (B.O.E. 8-10-1988)

[ORDE91] **Orden del Ministerio de Educación y Ciencia** de 4-11-1991, por la que se aprueban los *Programas de Necesidades para la redacción de los proyectos de construcción de Centros de Educación Infantil, Educación Primaria, Educación Infantil y Primaria, Educación Secundaria Obligatoria, Educación Secundaria Completa* (B.O.E. 12-11-1991)

[PARR93] **A. Parra López**, *Estudio de la transmisión de ruido de impacto a través de los forjados en la edificación*, Trabajo Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior (Universidad de Alicante) 1993

[PEAR78] **E. Pearson y G. Oddie**, *Estudios sobre construcciones escolares*, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid 1978

[PEKK90] **E. Pekkarinen y V. Viljanen**, *Effect of sound-absorbing treatment on Speech Discrimination in Rooms*, *Audiology* **29**, 219-227 (1990)

[PICA01] **M. Picard y J.S. Bradley**, *Revisiting speech interference in classrooms*, *Audiology* **40**(5), 221-244 (2001)

[POHL68] **J.G. Pohl**, *Artificial sound blankets in modern school planning*, *Arch. Sci. Rev.* **61**, 61-66 (1968)

[QUEV00] **F.R. Quevedo de Antognazza**, *El ruido, un enemigo temible*, 2002, [www.eie.fceia.unr.edu.ar/-acustica/biblio/rita.htm](http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/-acustica/biblio/rita.htm)

[REAL81] **Real Decreto 1.909/81**, de 24 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81, sobre *condiciones acústicas de los edificios* (B.O.E. 7-9-1981)

[REAL82] **Real Decreto 2.115/82**, de 12 de agosto, por el que se modifica la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-81, sobre *condiciones acústicas de los edificios* (B.O.E. 3-9-1982 y B.O.E. del 7-10-1982)

[RODR99] **F. Rodríguez y de Maquívar**, *Legislación vigente sobre la construcción de edificios con destino a escuelas elementales de niños –comentada y concordada-*, M. Romero (impresor), Madrid 1899

[ROSS02] **M. Ross**, *Personal and Social Identity of Hard of Hearing People*, International Federation of Hard of Hearing People, 2002, <http://www.ifoh.org/ross1.htm>

[ROTH57] **A. Roth**, *The New School*, Ed. F.P. Raeger, New York 1957 (Citado en [CAST74])

[SAEZ93] **J. Sáez Tomás**, *Estudio experimental del aislamiento a ruido aéreo de los cerramientos de fachada en las construcciones arquitectónicas*, Trabajo Fin de Carrera, Escuela Politécnica Superior (Universidad de Alicante) 1993

[SEBA00] **S. Seballos**, **P. Matamala** y **V. Salinas**, *Polución acústica en salas de clase y patología auditivas. Evaluación como factores de riesgo en educación y aprendizaje*, Jornadas Nacionales de Acústica (Tecniacústica 2000), Madrid, octubre 2000

[SOLB96] **J. Solbes** y **A. García**, *Estudio acústico de dos centros de enseñanza secundaria*, Revista de Acústica **27**, nº 1-2 (1996)

[SUAR02] **E. Suárez** y **M. Recuero**, *Study of perception on the acoustic environmental of students of school in the Menorca island*, FORUM ACUSTICUM (3rd European Congress on Acoustics) (Tecniacústica 2002), Sevilla, septiembre 2002

[SUTE91] **A.H. Suter**, *Noise and its Effects*, Administrative Conference of the United States, noviembre 1991, <http://www.nonoise.org./library.htm>

[TOBI75] **J.M. Tobío**, *El aislamiento y acondicionamiento acústicos en la edificación*, 3ª edición, Manuales y Normas del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento, CSIC, Madrid 1976

[VAND69] **IR.J. Van der Eijk**, *Some problems in the measurement and rating of impact sound insulation*, Appl. Acoust. **2**, 269-277 (1969)

[VELA97] **A. Vela**, **M. Arana**, **M. Sanmartín** y **M. Barrachina**, *Condiciones acústicas de las aulas del aulario de la Universidad Pública de Navarra*, XXVIII Jornadas Nacionales de Acústica (Tecniacústica 1997), Oviedo, noviembre 1997

[VENE01] **C. Venet**, *Constructions scolaires: point réglementaire*, CSTB Magazine, **135**, mai-juin 2001

[VERA94] **J. Vera**, **A. Durá**, **P. López**, **A. Hernández** y **A. Martín**, *Análisis global de las características acústicas de las aulas de la Universidad de Alicante*, Jornadas Nacionales de Acústica (TECNIACÚSTICA 94), Valencia 1994

[VERA97] **J. Vera**, *Contribución experimental al estudio del acondicionamiento y aislamiento acústico del aula escolar*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 1997

[VIÑA90] ] **A. Viñao**, *Innovación pedagógica y racionalidad científica: la escuela graduada pública en España (1898-1936)*, Ediciones AKAL, Madrid 1990

[VIÑA93] ] **A. Viñao**, *Construcciones y edificios escolares durante el Sexenio Democrático (1868-1874)*, Historia de la Educación (Univ. de Salamanca) **12-13**, 493-534 (1993-94)



[VISE86] **J.M. Visedo**, *La construcción escolar primaria en los centros públicos españoles de 1875 a 1985: Evolución histórica y análisis comparativo*, Tesis Doctoral, Fac. de Filosofía y Ciencias de la Educación, Universidad de Murcia, 1986

[VVAA74] **Varios autores**, *Construcciones escolares*, Revista de Educación Monográfico **233-234** (1974)

[WEBS78] **J.C. Webster**, *Speech interference aspects of noise*, en *Noise and Audiology* (D.M. Liscomb, ed.), University Park Press, Baltimore 1978

[YACU87] **W.S. Yacullo** y **D.B. Hawkins**, *Speech recognition in noise and reverberation by school-age children*, *Audiology* **26**, 235-246 (1987)

[YEBR02] **M. Yebra**, **S. Bleda**, y **J. Vera**, *Necesidad de pautas y normativa acústica específicas en las construcciones escolares: la universidad de Alicante, un ejemplo*, FORUM ACUSTICUM (3rd European Congress on Acoustics) (Tecniacústica 2002), Sevilla, septiembre 2002

**PHONAK**

soluciones auditivas

programa infantil