

Una mirada a los criterios de diseño acústico de la infraestructura educacional en Chile

A review of acoustic design criteria for school infrastructure in Chile

J.R. Aguilar ^{1*}

* Chileacus – Consultores en Acústica Arquitectónica, Santiago, CHILE

Fecha de Recepción: 21/08/2018
Fecha de Aceptación: 18/12/2018
PAG 115-123

Abstract

Since oral communication is the main means we use to learn, acoustics becomes one of the most important attributes of the architectural design of classrooms. Adverse acoustic conditions in the classroom negatively affect the learning, performance and cognitive development of students. In year 2015 the Ministry of Education introduced acoustic design criteria for learning spaces. This article presents a review of these criteria based on a comparison with international regulations and considering the database of the Santiago's urban noise map. The results show that the current acoustic criteria for educational settings in Chile present several shortcomings with respect to international standards. It is also observed that more than 70% of educational establishments in Santiago are exposed to environmental noise levels that lie outside the range of application of the criterion.

Keywords: Classroom acoustics; Educational infrastructure; Façade noise

Resumen

Desde que la comunicación oral es el principal medio que utilizamos para aprender, la acústica se vuelve uno de los atributos más importantes del diseño arquitectónico de las aulas. Las condiciones acústicas adversas en las aulas afectan negativamente el aprendizaje, el desempeño y el desarrollo cognitivo de los estudiantes. En el año 2015 el Ministerio de Educación introdujo criterios de diseño acústico para los espacios educativos. Este artículo presenta una revisión de dichos criterios realizada mediante una comparación con la normativa internacional y considerando la base de datos del mapa de ruido urbano de Santiago. Los resultados muestran que los actuales criterios acústicos para los espacios educativos en Chile presentan falencias con respecto a la normativa internacional. Además se observa que, con los actuales niveles de ruido urbano, el criterio de diseño acústico para los espacios educativos del Ministerio de Educación no se puede aplicar a más del 70% de los establecimientos educacionales en Santiago.

Palabras clave: Acústica de espacios educativos; Infraestructura escolar; Ruido de fachada

1. Introducción

Es generalmente aceptado que ciertos atributos del diseño arquitectónico de los espacios educativos tales como la iluminación, el color, la ventilación, la temperatura y la acústica, entre otros, influyen en las actitudes, el comportamiento y el desempeño de los estudiantes (Lewinski, 2015) (Maxwell, 2016) (Tanner, 2009) (Uline y Tschannen-Moran, 2008). Pero las implicaciones de tener espacios educativos de calidad van más allá del confort en la sala de clases. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), las mejoras en el desempeño de los estudiantes producen mejoras directas en el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita de una nación (OECD, 2010). La evidencia muestra que un incremento de media desviación estándar en el desempeño en matemáticas y en ciencias a nivel individual implica un incremento de 0.87% en la tasa anual de crecimiento del PIB per cápita. Esta relación entre espacios educativos de calidad, desempeño académico y crecimiento económico constituye un círculo virtuoso que justifica en el largo plazo la implementación de políticas públicas en esta materia.

En el año 1997 el Ministerio de Educación suscribió el convenio UNESCO con el objetivo de optimizar la inversión pública en infraestructura escolar. Uno de los resultados de este acuerdo fue la elaboración de Guías de Diseño de Espacios Educativos para los proyectos educacionales en el país (MINEDUC, 1999). Estos documentos fueron desarrollados en conjunto con la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas y tuvieron como propósito establecer los requisitos generales de diseño y recomendar programas arquitectónicos para los establecimientos educacionales, según las zonas climáticas del país y el nivel escolar de los establecimientos.

Un atributo arquitectónico de los espacios educativos que por aquel entonces no fue considerado en las guías de diseño fue la acústica. Una acústica apropiada es fundamental en las escuelas ya que la comunicación oral aún constituye el principal medio que utilizamos para enseñar y aprender en las salas de clases. De hecho, las condiciones acústicas desfavorables en los espacios educativos, tales como el excesivo ruido ambiental y la reverberación, interfieren la comunicación hablada y poseen efectos adversos en el aprendizaje, en el desempeño académico y el desarrollo cognitivo de los estudiantes (Klatte et al., 2013).

Es que los niños no escuchan tal como lo hacen los adultos. Un número de funcionalidades del procesamiento auditivo se terminan de desarrollar durante la niñez o la

¹ Autor de Correspondencia:

Chileacus – Consultores en Acústica Arquitectónica, Santiago, CHILE
E-mail: aguilar@chileacus.cl



adolescencia (Werner, 2007). Esta falta de madurez neurológica de la audición se manifiesta en una reducción de la capacidad de los estudiantes para procesar tareas auditivas tales como: la localización espacial de los sonidos (Moore, 2002), la categorización de fonemas (Hazan y Barret, 2000), la atención selectiva auditiva (Jones et al., 2015), la percepción de la palabra en presencia de ruido (Jacobi et al., 2017), y el reconocimiento de la palabra bajo condiciones de ruido y de reverberación (Neumann et al., 2010)(Koopmans et al., 2018). Por ejemplo, para alcanzar el mismo desempeño en pruebas de inteligibilidad de la palabra, un estudiante de 6 años de edad requiere que la diferencia entre el nivel de ruido ambiente en el aula y el nivel de la voz del profesor sea 7 dB mayor que lo que requiere un estudiante de 11 años de edad (Bradley y Sato, 2008). Sólo hacia fines de su segunda década de vida los niños alcanzan el desempeño auditivo que poseen los adultos identificando palabras en presencia de ruido. Por otra parte, la falta de competencias lingüísticas también juega en contra de la audición de los estudiantes. Sus limitaciones en el acceso léxico reducen su capacidad de reconocer palabras en presencia de ruido (Kaandorp et al., 2016), a la vez que los niños son menos aptos que los adultos utilizando el contexto para reconstruir palabras degradadas por el ruido (Klatte et al., 2013). En condiciones acústicas adversas los niños resultan ser más propensos que los adultos a perder información auditiva. Esta susceptibilidad se acrecienta en niños menores de 13 años de edad, por lo que son considerados como población de riesgo ante una acústica deficiente en el aula (Anderson, 2008) (Flagg-Williams et al., 2011) (Shield y Dockrell, 2003).

Los estudiantes educados en escuelas ruidosas aprenden menos. La exposición crónica al ruido en el aula puede reducir las tasas de aprendizaje de los niños a partir de los 4 años de edad, y los efectos negativos en su aprendizaje se profundizan a medida que los años de exposición aumentan (Maxwell y Evans, 2000) (Shield y Dockrell, 2008). El ruido en las aulas también reduce la motivación de los estudiantes para aprender (Clark et al., 2005) (Evans y Lepore, 1993). El desempeño académico de los estudiantes se ve afectado negativamente por el ruido en el aula. La evidencia revela que la exposición al ruido reduce el desempeño en lenguaje (lectura y escritura) así como en matemáticas (Ljung et al., 2009), reduce el desempeño en pruebas nacionales estandarizadas (Shield y Dockrell, 2003), y reduce el desempeño en pruebas de coeficiente intelectual (Bhang et al., 2018). Se sugiere también que la exposición al ruido en las aulas afectaría más a los niños que a las niñas (Hetú et al., 1990). En cuanto a los efectos en el desempeño cognitivo de los estudiantes, las investigaciones concluyen que la exposición a altos niveles de ruido en el aula afecta la atención y la concentración (Evans y Lepore, 1993) (Hetú et al., 1990) (Klatte et al., 2013) (Shield y Dockrell, 2003), la memoria de corto plazo (Jianxin y Peng, 2018) (Klatte et al., 2013) y la capacidad para resolver problemas (Bhang et al., 2018) (Shield y Dockrell, 2003). La exposición crónica al ruido en las aulas menoscaba la adquisición del lenguaje y reduce las habilidades de lectura y de comprensión de lectura (Klatte et al., 2013). En el nivel preescolar, los niños que asisten a aulas ruidosas exhiben un pobre uso y entendimiento del lenguaje, lo que reduce sus habilidades de pre-lectura tales como la diferenciación entre letras y números (Maxwell y Evans, 2000). No sorprende entonces que los estudiantes expuestos al ruido en el aula tardan más tiempo en aprender a leer (Hetú et al., 1990). Ya en el nivel

primario, los niños que asisten a escuelas con altos niveles de ruido consistentemente evidencian un pobre desempeño en comprensión de lectura (Bronzaft y McCarthy, 1975) (Clark et al., 2005) (Evans y Maxwell, 1997).

En el año 2015 el Ministerio de Educación incorporó por primera vez los criterios acústicos en las guías de diseño de los espacios educativos del país (MINEDUC, 2015). Dada la importancia superlativa que tiene la acústica en el funcionamiento de los espacios de enseñanza, este trabajo presenta una revisión de esos criterios de diseño acústico para la infraestructura educacional en Chile. El objetivo de esta investigación es determinar si los estándares de calidad del Mineduc son suficientes para garantizar una acústica apropiada en los establecimientos educacionales de nuestro país. La validez de los criterios instaurados en Chile se discute a partir de una comparación con los criterios acústicos adoptados en un número de países de la OECD, y con la base de datos del Mapa de Ruido de Santiago (MMA, 2016), que contiene mediciones de ruido ambiental urbano realizadas en las fachadas de 2155 establecimientos educacionales de la ciudad.

2. Criterios de Diseño Acústico para los Espacios Educativos

La intersección de las habilidades auditivas aun no desarrolladas de los niños, con las condiciones acústicas desfavorables en las aulas, crea barreras comunicacionales¹ que sitúan a los estudiantes en riesgo educacional. Bajo esta premisa los criterios de desempeño acústico para los espacios educativos se diferencian notablemente de otros criterios, como pueden ser los de confort acústico en el contexto de la eficiencia energética. Es por esto que un creciente número de países pertenecientes a la OECD han establecido criterios acústicos específicos para los espacios de enseñanza. La (Tabla 1) contiene un resumen de los criterios o estándares de diseño acústico de espacios educativos utilizados en Chile y en otros 13 diferentes países pertenecientes a la OECD. Se incluye además el criterio de la Organización Mundial de la Salud, y los valores recomendados por (Mealings, 2016) a partir de una recopilación de criterios de diseño acústico para aulas de enseñanza primaria publicados en normas internacionales y en artículos de investigación.

Para describir el desempeño acústico de una sala de clases se utiliza un conjunto de parámetros que permiten evaluar su aptitud para la comunicación oral. Los descriptores utilizados para caracterizar acústicamente las aulas son el nivel del ruido de fondo L_{eqASr} , el tiempo de

¹ El ruido afecta la percepción del habla a través del enmascaramiento energético y del enmascaramiento informacional. El primero de estos se presenta cuando la palabra posee las mismas características espectrales que el ruido y el auditor no es capaz de diferenciar uno de otro. El segundo, en cambio, se manifiesta cuando el ruido actúa como un distractor, y es consecuencia de los déficits en el desarrollo neurológico de la audición que exhiben los niños (Klatte et al. 2013). Por otra parte, la reverberación enmascara energéticamente el sonido directo de la voz del profesor ya que prolonga la duración del sonido de las vocales las que entonces enmascaran a las consonantes y reducen la inteligibilidad (Crandell y Smaildino 2000).

reverberación RT, la inteligibilidad de la palabra STI, la relación palabra-ruido SNR, la distancia profesor-alumno, el aislamiento de fachada $D_{2m, nT, w}$, el aislamiento al ruido aéreo de los muros R'_{w} y el aislamiento al ruido de impacto de los pisos $L'_{nT, w}$.

Nivel de Ruido L_{eqAS} . El ruido presente en el aula está compuesto por diversas fuentes que existen fuera de la escuela, dentro de la escuela y dentro de la misma aula (Flagg-Williams et al., 2011). El ruido ambiental en los exteriores de la escuela, o ruido urbano, es producido por el tráfico vehicular, por vendedores callejeros, por aeropuertos o vías de trenes en las cercanías de la escuela, y por la lluvia. El ruido en el exterior de la escuela se suele expresar en términos del nivel de ruido ambiental que existe en la fachada más expuesta o Nivel Equivalente Diurno NED. El ruido al interior del establecimiento, pero afuera de la sala de clases es generado por las actividades desarrolladas en el patio, en los pasillos y en las aulas adyacentes. El ruido generado dentro de la misma sala de clases considera el ruido de servicios (ventilación mecánica, iluminación), y el ruido de equipamiento (proyectors, computadores). El ruido al interior del aula se caracteriza como nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A medido sobre un determinado período de tiempo, o L_{eqAS} , y se expresa en dB(A). Las diferentes normas establecen disímiles condiciones de medición del nivel de ruido, pero coinciden en la medición de la sala sin estudiantes y con mobiliario. Dependiendo del estándar, el nivel de ruido de fondo máximo para las aulas varía entre 30 dB(A) y 40 dB(A), siendo el criterio más recurrente el de $L_{eqAS} \leq 35$ dB(A).

Tiempo de Reverberación RT. La reverberación corresponde a la secuencia de múltiples y sucesivas reflexiones de las ondas sonoras en las paredes y superficies interiores de la sala. Auditivamente la reverberación es percibida como una prolongación decadente del sonido de la voz después que esta ha cesado de emitir sonido². El tiempo de reverberación RT es una medida estandarizada de la duración de la reverberación de un recinto y se expresa en segundos. Algunos estándares como el BB93 utilizan el descriptor RT_{mid} que corresponde al promedio aritmético del tiempo de reverberación en las bandas de frecuencia de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz. Los estándares de diseño acústico para espacios educativos revisados especifican el tiempo de reverberación máximo en función del volumen interior de la sala y/o en función del nivel escolar. El tiempo de reverberación máximo dentro del aula se encuentra entre 0.4 segundos y 1.2 segundos, siendo el criterio de $RT \leq 0.6$ segundos el más frecuentemente utilizado.

Inteligibilidad de la Palabra. Este atributo representa una medida de la proporción de palabras correctamente entendidas en un discurso. Dentro de la sala de clases, la

inteligibilidad de la palabra dependerá del ruido ambiental, de la reverberación, de la distancia profesor-alumno y de las características de la voz del profesor. Existen diversos descriptores de la inteligibilidad de la palabra, pero es el Speech Transmission Index (STI) el más utilizado en acústica de espacios educativos. Según el criterio de inteligibilidad de la palabra hablada, el STI mínimo varía entre ≥ 0.6 y ≥ 0.75 en las normas internacionales analizadas. El STI también se utiliza para caracterizar salas tipo planta abierta en las cuales no es posible medir directamente el tiempo de reverberación.

Relación Palabra-Ruido SNR. Conocida en su acepción más general como relación señal-ruido, corresponde a la diferencia, en decibeles, entre el nivel sonoro de la voz del profesor y el nivel sonoro del ruido existente en la sala de clases³. A mayor relación palabra-ruido mayor inteligibilidad. La relación palabra-ruido es inversamente proporcional a la distancia profesor-alumno. Las normas internacionales recomiendan una relación palabra-ruido mínima de +15 dB SNR dentro de las aulas.

Aislamiento de Ruido. Los aislamientos sonoros de los elementos constructivos verticales y horizontales que delimitan la sala de clases también son utilizados como descriptores del desempeño acústico del aula. En esta categoría encontramos el aislamiento de la fachada $D_{2m, nT, w}$, el aislamiento al ruido aéreo de los muros R'_{w} y el aislamiento al ruido de impacto de los pisos $L'_{nT, w}$. El criterio de aislamiento sonoro de la fachada se especifica usualmente como función del NED. Los criterios de aislamiento al ruido aéreo de los muros y el aislamiento al ruido de impacto de los pisos se especifican dependiendo del recinto adyacente, i.e. dependiendo de si el muro o piso en cuestión separa el aula con otra aula de clases, con un pasillo, con una oficina, etc. Entre las normas estudiadas el criterio de aislamiento mínimo de la fachada varía entre 28 dB y 48 dB. El criterio de aislamiento mínimo al ruido aéreo del muro que separa dos aulas contiguas puede variar entre 43 dB y 55 dB, siendo el valor de 50 dB el más utilizado. Finalmente, el criterio de aislamiento mínimo al ruido de impacto⁴ entre aulas yace en el rango de 48 dB a 65 dB.

³ La voz normal del profesor, medida a dos metros de distancia desde la boca, alcanza unos 60-65 dB durante una conversación normal, pero se eleva hasta más de 70 dB al alzar la voz y puede llegar hasta los 80 dB al gritar. En ambientes ruidosos una persona tiende involuntariamente a alzar la voz para hacerse escuchar, esta acción refleja es conocida como efecto Lombard. Elevar la voz por sobre el ruido ambiental, si bien aumenta la relación palabra-ruido SNR, puede producir un impacto negativo en la inteligibilidad del habla. Esto se debe a que levantar la voz implica aumentar el nivel sonoro de las vocales, mientras que los sonidos que articulan el habla, tales como las consonantes, podrían permanecer ininteligibles (Flagg-Williams et al. 2011). Asimismo, estudios han demostrado que cuando el nivel de la voz excede los 69 dB(A) los auditores no la perciben bien y requieren mayor SNR para mantener los niveles de inteligibilidad del habla. De esta forma parece más aconsejable reducir el ruido ambiental en el aula que aumentar, ya sea naturalmente o por medio de amplificación electrónica, el nivel de la voz del profesor (Nelson y Soli, 2000).

⁴ El valor de $L'_{nT, w}$ representa el nivel de ruido máximo que puede ser producido en la sala receptora (aula) por una máquina de impactos normalizados ubicada sobre la losa de la sala emisora (recinto adyacente).

² La reverberación del aula de clases afecta la percepción de la palabra hablada a través de dos mecanismos diferentes. Por una parte, la reverberación enmascara energéticamente el sonido de la voz del profesor reduciendo su inteligibilidad. Por otra parte, la reverberación puede amplificar la intensidad de los sonidos dentro del aula en varios decibeles debido a la superposición de las ondas reflejadas que la componen. Por supuesto esta amplificación incluye también al ruido ambiental presente en el aula, el que entonces enmascara aún más la voz del profesor. Por esta razón se dice que la reverberación y el ruido en el aula interactúan sinérgicamente en contra de la inteligibilidad del habla.



El análisis de la normativa internacional revela que los criterios de desempeño acústico para espacios educativos presentan diferentes grados de desarrollo en el rango de países estudiados. En la actualidad, los más avanzados parecen ser el estándar británico Building Bulletin BB93 (BB93, 2014), junto con el norteamericano ANSI S12.60 (ANSI, 2010) y el neozelandés DQLS. A través de todos los estándares internacionales, los descriptores más utilizados para caracterizar acústicamente las aulas son el nivel del ruido de fondo L_{eqAS} y el tiempo de reverberación RT , siendo estos los requerimientos mínimos que cualquier criterio de diseño de acústico de espacios educativos debiese tener.

Existe además una tendencia a establecer criterios para otros descriptores tales como el STI mínimo, el aislamiento sonoro mínimo de la fachada $D_{2m, nT, w}$ y de los muros R'_w , y el aislamiento mínimo de los pisos y losas al ruido de impacto $L'_{nT, w}$. En algunos estándares se establecen criterios de diseño acústico diferenciados de acuerdo con el nivel educativo de los estudiantes, i.e. preescolar, primaria y secundaria, y para las aulas destinadas a estudiantes con discapacidades auditivas o del lenguaje. Asimismo, se especifican criterios acústicos diferentes dependiendo de si el edificio es nuevo o si se trata de uno refaccionado.

Tabla 1. Resumen de criterios de desempeño acústico para espacios educativos utilizados en países de la OECD

País	Estándar	Aula Audición Normal							Aula Audición Especial		
		L_{eqAS}	RT	STI	SNR	$D_{2m, nT, w}$	R'_w	$L'_{nT, w}$	L_{eqAS}	RT	STI
Chile	MINEDUC		0.6 ^(a) , 0.7 ^(b)	0.6		30	50				
Alemania	DIN 18041	35	0.32logV-0.17								
Australia	AS/NZS 2107	35	0.4-0.5						30	0.4	
Bélgica	NBN S 01-400-2	35	0.35log(1.25V)			26	44	60			
Dinamarca	BR15	30	0.6	0.6		33	51	58			
Finlandia	SFS 5907:en	35	0.5-0.8				48	63			
Francia	LOI 92-1444	33	0.8 ^(c) , 1.2 ^(d)			30	43	60			
Italia	DPCM 05/12/97	35	0.8	0.75		48	50	53			
Noruega	NS 8175	35	0.6								
Nueva Zelanda	DQLS	35	0.4 ^(e) , 0.6 ⁽ⁱ⁾				50	55			
Polonia	PN-B-02151	35	0.6 ^(g) , 0.8 ^(h)				50	53-63			
Reino Unido	BB93	35	0.6 ^(e) , 0.8 ⁽ⁱ⁾	0.6		35	45	60	30	0.4	
Suecia	SS 02 52 68	26-40	0.4								
USA	ANSI S12.60	35	0.6 ^(a) , 0.7 ^(b)	0.6	15		50		30	0.4	20
Internacional	OMS	35	0.6								
Rango		30-40	0.4-1.2	0.6-0.75	15	26-48	43-51	53-65	30	0.4	20
Moda		35	0.6	0.6	15		50	60	30	0.4	20
Mealings		30	0.4	0.75	15				28	0.3	0.75
6 a 7 Años		28	0.4	0.75	20						
10 a 11 Años		39	0.4	0.61	15						

- (a) Volumen del aula $V \leq 283 \text{ m}^3$
- (b) Volumen del aula $V > 283 \text{ m}^3$
- (c) Volumen del aula $V \leq 250 \text{ m}^3$
- (d) Volumen del aula $V > 250 \text{ m}^3$
- (e) Aula de enseñanza primaria
- (f) Aula de enseñanza secundaria
- (g) Altura aula $H \leq 4\text{m}$
- (h) Altura aula $H > 4\text{m}$

Fuente: (Berglund et al., 1999); (Machimbarrena & Rasmussen, 2016); (Mealings, 2016); (Mikulski & Radosz, 2011); (Rasmussen et al., 2012); (Rasmussen & Guigou-Carter, 2016); (Torchia et al., 2015); (Vallet & Karabiber, 2002); (Wróblewska, 2010).



3. La Acústica de los Nuevos Espacios Educativos en Chile

En el año 2015 el Ministerio de Educación instauró criterios de diseño acústico para la infraestructura escolar que se edifica en nuestro país. Al comparar los criterios acústicos del Mineduc con los estándares internacionales es posible observar algunas falencias importantes en la normativa nacional. Sin duda la más significativa de estas limitaciones viene a ser la ausencia del criterio de nivel máximo de ruido de fondo en las aulas. En efecto, el criterio de diseño acústico del Ministerio de Educación no estipula un nivel de ruido ambiental máximo permitido dentro de los espacios educativos. La necesidad de establecer un criterio de nivel de ruido máximo se justifica por los efectos nocivos que la exposición al ruido ejerce en la percepción de la palabra y la adquisición del lenguaje y la lectura, y sus demostrados efectos negativos en el desempeño académico y en el desarrollo cognitivo de los estudiantes. De acuerdo con la normativa internacional el nivel de ruido de fondo en el aula no debería exceder los 35 dB(A) en enseñanza primaria y los 40 dB(A) en enseñanza secundaria

Las limitaciones de la normativa chilena para garantizar un adecuado nivel de ruido dentro de las aulas se agravan cuando revisamos el criterio de aislamiento sonoro de la fachada $D_{2m,nT,w}$. Tal como se especifica en algunas normas internacionales, el aislamiento mínimo de la fachada es función del nivel de ruido exterior NED. En el caso chileno el criterio exige que el aislamiento mínimo de la fachada sea de 30 dB cuando el NED sea menor o igual a 65 dB(A). Este valor de aislamiento de fachada, aunque se encuentra dentro del rango de la normativa internacional, se acerca a los valores más modestos. Pero el problema surge porque que el criterio no especifica un aislamiento mínimo de la fachada en el caso de que el NED sea mayor que 65 dB(A). Esta omisión podría pasar inadvertida a no ser que consideremos que en el año 2016 el Ministerio del Medio Ambiente actualizó el mapa de ruido de Santiago, el que esta vez incluyó mediciones estandarizadas de ruido ambiental NED en las fachadas de 2155 párvulos, escuelas, colegios, y liceos del área metropolitana⁵ (MMA, 2016). De acuerdo con el mapa de ruido de Santiago el 70.63% de los establecimientos, unos 1572, se encuentran expuestos a niveles de ruido urbano por sobre los 65 dB(A), lo que es considerado como inaceptable según la normativa medioambiental, y además vuelve inaplicable el criterio de diseño acústico del Mineduc.

De acuerdo con la base de datos del mapa de ruido de Santiago, el nivel de ruido ambiental NED al que están expuestos los establecimientos educacionales de Santiago varía entre los 52.5 dB(A) para aquellos ubicados en los sectores más silenciosos y se eleva hasta los 81.6 dB(A) en aquellos ubicados en zonas más ruidosas. La tabla 2 resume los resultados del análisis de la base de datos del mapa de ruido de Santiago. Se muestran la cantidad de establecimientos en función del NED al que se encuentran expuestos, para los diferentes niveles educativos. Los datos muestran que el 73.38% de los establecimientos de educación preescolar están expuestos a niveles de ruido de fachada mayores o iguales que 65 dB(A) y el 25.9% a niveles mayores o iguales que 70 dB(A). Asimismo, el 65.13% de las escuelas de educación primaria están expuestas a niveles de ruido NED mayores o iguales que 65 dB(A) y el 27.31% a niveles NED de más de 70 dB(A). En los liceos la situación es aún más crítica ya que el 80.41% de estos se encuentran expuestos a niveles de ruido ambiental mayores o iguales que 65 dB(A), mientras que el 43.81% a niveles mayores o iguales que 70 dB(A). Finalmente, el 78.36% de los establecimientos de educación especial se encuentra expuestos a niveles de ruido mayores o iguales que 65 dB(A) mientras que el 28.49% a niveles mayores o iguales que 70 dB(A). El histograma de la figura 1 resume los resultados obtenidos en las mediciones de ruido de fachada en los establecimientos educacionales de Santiago, el eje de abscisa representa el intervalo del NED. En el análisis por nivel o tipo educativo no fueron considerados los establecimientos de educación de adultos, centros educacionales y otras clasificaciones menores, los que sí están contabilizados en el total de 2155 establecimientos.

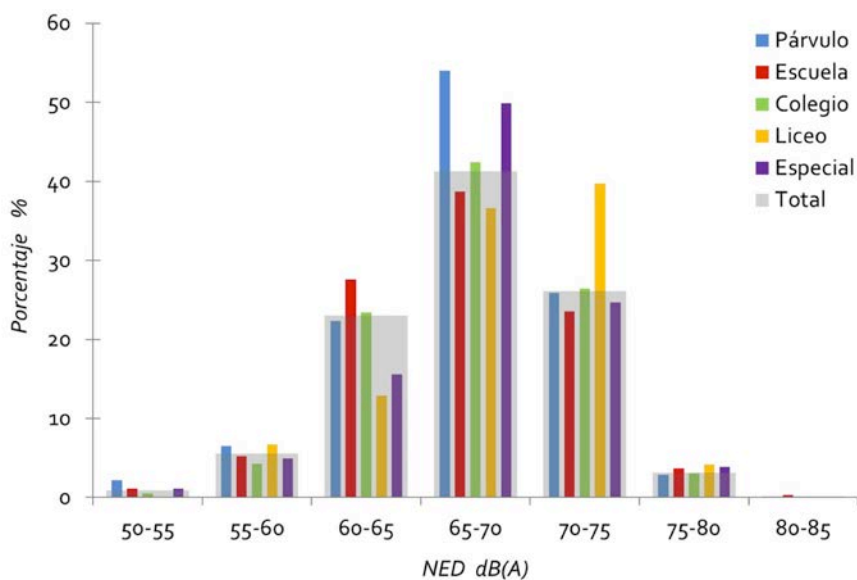
⁵ El Ministerio de Educación no cuenta con antecedentes sobre evaluaciones acústicas estandarizadas realizadas en establecimientos educacionales. Evaluaciones de confort ambiental que incluyeron mediciones de ruido no estandarizadas fueron realizadas por Armijo et al., (2011) en 8 escuelas del país. Estas evidenciaron que el ruido es uno de los mayores problemas de confort ambiental en las escuelas, y que el nivel de ruido interior en las aulas varió entre 45 dB(A) y 80 dB(A), mientras que el nivel de ruido exterior varió entre 62 dB(A) y 80 dB(A).



Tabla 2. Número de establecimientos educacionales de Santiago en función del nivel de ruido de fachada NED al que están expuestos y del tipo de establecimiento educacional

Tipo	Cantidad	NED dB(A)						
		50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85
Párvulo	158	3	9	31	75	36	4	0
Escuela	705	8	37	197	276	168	26	2
Colegio	590	3	25	138	250	156	18	0
Liceo	194	0	13	25	71	77	8	0
Especial	365	4	19	57	182	90	14	0
Total	2155	19	119	495	889	563	67	3

Fuente: Mapa de Ruido de Santiago (MMA, 2016).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Mapa de Ruido de Santiago (MMA, 2016).

Figura 1. Histograma del número de establecimientos educacionales de Santiago, expresado como porcentaje del total de establecimientos de la clase, en función del nivel de ruido de fachada NED al que están expuestos y según el tipo de establecimiento educacional.

En cuanto al criterio de tiempo de reverberación máximo, el estándar del Mineduc homologa la norma ANSI S12.60, lo cual es apropiado. Como es usual en otros criterios, se hace una diferenciación de acuerdo con el volumen del aula $RT \leq 0.6$ segundos para aulas de hasta 283 m³ y $RT \leq 0.7$ s para aulas más grandes. En cuanto al criterio de inteligibilidad, este fue establecido en $STI \geq 0.6$, consistentemente con ANSI S12.60, con BB93, y con otros estándares. No se especifica un criterio para la relación palabra-ruido *SNR*.

El criterio de aislamiento al ruido aéreo de los muros fue establecido en $R' \geq 50$ dB para todos los paramentos, independientemente del recinto adyacente que separan. Esto es bueno para los muros entre aulas de clases, pero sobreestima el aislamiento requerido si el recinto adyacente son oficinas o bodegas, y subestima el aislamiento necesario si el recinto adyacente es una sala de música o un multitaller. La subestimación del aislamiento acústico requerido para los muros es un factor de riesgo para el cumplimiento de estándares de calidad acústica en las aulas. Por otra parte, la sobreestimación del aislamiento acústico de los muros puede producir desperdicio de recursos públicos. El criterio de diseño acústico del Ministerio no establece requisitos sobre el aislamiento al ruido de impacto de los pisos y losas.

Los criterios de diseño acústico del Mineduc tampoco establecen una diferenciación de acuerdo con el nivel educacional de los estudiantes. Es decir las aulas de educación preescolar, primaria y las de secundaria poseen la misma acústica. La evidencia, sin embargo, muestra que los niños menores de 13 años son neurológicamente más susceptibles de verse afectados por el ruido y la reverberación, y por lo tanto son considerados como población de riesgo en aulas con acústica pobre. Por esta razón las normas internacionales establecen criterios acústicos diferenciados para las aulas de enseñanza primaria versus las de secundaria. Estas diferencias se suelen expresar en términos del nivel ruido de fondo, del tiempo de reverberación, o de ambos.

En la era de la inclusión, los criterios de diseño acústico para los espacios educativos del Ministerio de Educación no consideran las aulas inclusivas. No fueron establecidos criterios de diseño acústico para aulas destinadas a estudiantes con discapacidades auditivas o del lenguaje. Cuando hablamos de espacios educativos inclusivos debemos considerar que la población de riesgo por la exposición a una acústica pobre en el aula también incluye a niños con algún grado de pérdida auditiva, niños que sufren desordenes de articulación (paladar fisurado, apraxia), o desordenes del lenguaje (afasia, trastorno específico del lenguaje) o trastorno del procesamiento auditivo, y a los estudiantes inmigrantes con lengua no-nativa (Anderson, 2008).

Cuando se plantea la necesidad de estándares de calidad acústica en los espacios educativos del país, uno de los argumentos en oposición más recurrentes son los costos económicos de la implementación de estas medidas. No solo para la construcción de los establecimientos educacionales nuevos, sino también para el acondicionamiento de aquellas escuelas ya construidas. En este aspecto la OECD es clara y recomienda invertir en espacios educativos de calidad, ya que estos producen mejoras en el desempeño académico de

los estudiantes, las que a la larga se traducen en incrementos en el PIB de la nación.

4. Conclusiones

Dado que la comunicación oral es el principal medio que utilizamos en las escuelas para aprender, la acústica se convierte en uno de los atributos arquitectónicos más importantes del diseño de los espacios educativos. La acústica de las aulas adquiere una mayor connotación cuando consideramos la falta de desarrollo neurológico de la audición que exhiben los niños y jóvenes menores de 20 años de edad. Los niños educados en aulas con mala acústica –aulas ruidosas, reverberantes o con poca inteligibilidad del habla– aprenden menos, presentan un menor desempeño académico, y se desarrollan cognitivamente menos. Los efectos negativos comienzan a manifestarse desde los 4 años de edad, y hasta los 13 años los niños son considerados como población de riesgo ante una mala acústica en las aulas.

En el año 1999 el Ministerio de Educación estableció recomendaciones de diseño arquitectónico para los espacios educativos, sin embargo, no fue hasta el año 2015 cuando los criterios acústicos fueron incorporados en el diseño de la infraestructura educacional del país. Aunque constituye un paso en la dirección correcta, la actual normativa adolece de la falta de algunas definiciones importantes. Entre las más significativas destaca la ausencia de un criterio de nivel máximo de ruido de fondo dentro de las aulas. Esto es particularmente problemático cuando consideramos que el 70.63% de los establecimientos educacionales en Santiago se encuentran expuestos a niveles de ruido urbano tales que no es factible aplicar el criterio acústico del Mineduc. Otras limitaciones importantes de la normativa incluyen la ausencia de criterios de diseño acústico para establecimientos de prebásica, la falta de diferenciación de los criterios acústicos en función del nivel educativo, y la no existencia de criterios para aulas de educación especial.

En tiempos de búsqueda de estrategias que permitan mejorar la calidad de la educación en nuestro país, parece recomendable recurrir a fórmulas de probada eficacia, tales como construir espacios educativos de calidad. La inversión en infraestructura escolar puede generar mejoras en el desempeño académico de los estudiantes, las que en el largo plazo devienen en crecimiento económico. Para esto se hace imperativa una política pública que establezca y fiscalice criterios de desempeño acústico apropiados, modernos e inclusivos, para el diseño y construcción de la infraestructura educacional en nuestro país.

5. Agradecimientos

El autor desea agradecer a Igor Valdebenito Ojeda y al equipo de profesionales del Departamento de Ruido, Lumínica y Olores de la División de Calidad de Aire del Ministerio del Medio Ambiente, por su valioso aporte en el desarrollo de esta investigación.



7. Referencias

- Anderson, K. (2008).** Classroom acoustics: A first step toward education for all. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(4), 2587. 10.1121/1.4783202.
- ANSI (2010).** ANSI S12.60. Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. American National Standards Institute (ANSI).
- Armijo, G., Whitman, C., & Casals, R. (2011).** Post-Occupancy Evaluation of State Schools in 5 Climatic Zones of Chile. *Gazi University Journal of Science*, 24(2), 365-374.
- AS/NZS 2107 (2016).** Acoustics - Recommended design sound levels and reverberation times for building interiors. Standards Australia.
- BB93 (2014).** Building Bulletin 93: Acoustic Design of Schools. Department for Education and Skill U.K.
- Berglund, Birgitta, Lindvall, Thomas, Schwela, Dietrich H & World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. (1999).** Guidelines for community noise. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>
- Bhang, S., Yoon, J., Sung, J., Yoo, C., Sim, C., Lee. (2018).** Comparing attention and cognitive function in school children across noise conditions: A quasi-experimental study. *Psychiatry Investigation*, 15(6), 620-627. 10.30773/pi.2018.01.15
- Bradley J. & Sato H. (2008).** The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *Journal of The Acoustical Society America*, 123(4), 2078-2086. 10.1121/1.2839285
- Bronzaft A. & McCarthy, D. (1975).** The effect of elevated train noise on reading ability. *Environmental Behavior*, 7(4), 517-527. 10.1177/001391657500700406
- BR15 (2015).** Byggningsreglement 2015. Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens nyhedsmail. Danmark.
- Clark, Ch., Martin, R., van Kempen, E., Tamuno A., Head, J., Davies, H., Haines, M., Lopez Barrio, I., Matheson, M. & Stansfeld, S. (2005).** Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: The RANCHO Project. *American Journal of Epidemiology*, 163(1), 27-37. 10.1093/aje/kwj001
- Crandell, C. & Smaldino, J. (2000).** Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31(4), 362-370. 10.1044/0161-1461.3104.362
- DIN 4109 (1989).** Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise. Deutsche Institut für Normung.
- DPCM 05/12/97 (1997).** Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici. Consiglio dei Ministri, Italy.
- DQLS (2016).** Designing Quality Learning Spaces – Acoustics. New Zealand Ministry of Education.
- Evans, J. (2006).** Acoustical standards for classroom design comparison of international standards and low frequency criteria. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 25(1), 1-9. <https://doi.org/10.1260/026309206777637348>
- Evans, G. & Lepore, S. (1993).** Non-auditory effects of noise on children: A critical review. *Children's Environments*, 10(1), 42-72. 10.2307/41515250
- Evans, G. & Maxwell, L. (1997).** Chronic noise exposure and reading deficits - the mediating effects of language acquisition. *Environment and Behavior*, 29(5), 638-656.
- Flagg-Williams, J., Rubin, R. & Aquino-Russell, C. (2011).** Classroom soundscape. *Educational and Child Psychology*, 28(1), 89-99.
- Hazan, V. & Barret, S. (2000).** The development of phonemic categorization in children aged 6–12. *Journal of Phonetics*, 28(4), 377-396. 10.1006/jpho.2000.0121.
- Héту, R., Truchon-Gagnon, C., & Bilodeau, S. (1990).** Problems of noise in school settings: A review of literature and the results of an exploratory study. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 14(3), 31-39. 10.1177/0013916597295003
- Jacobi, I., Rashid, M., Laat, J., & Dreschler, W. (2017).** Age dependence of thresholds for speech in noise in normal-hearing adolescents. *Trends in Hearing*, 21, 1-9. 10.1177/2331216517743641
- Jianxin, P. & Peng, J. (2018).** the effects of the noise and reverberation on the working memory span of children. *Archives of Acoustics*, 43(1), 123-128. 10.24425/118087
- Jones, P. R., Moore, D. R., & Amitay, S. (2015).** Development of auditory selective attention: Why children struggle to hear in noisy environments. *Developmental Psychology*, 51(3), 353-369. 10.1037/a0038570
- Kaandorp, M., De Groot, A., Festen, J., Smits, C., Goverts, T. (2016).** The influence of lexical-access ability and vocabulary knowledge on measures of speech recognition in noise. *International Journal of Audiology*, 55(3), 1-11. 10.3109/14992027.2015.1104735.
- Klatte, M. & Bergström, K. & Lachmann, T. (2013).** Does noise affect learning? A short review of noise effects on cognitive performance. *Frontiers in Psychology*, 4(578), 1-6. 10.3389/fpsyg.2013.00578.
- Koopmans, W., Goverts, T., & Smits, C. (2018).** Speech recognition abilities in normal-hearing children 4 to 12 years of age in stationary and interrupted noise. *Ear and Hearing*. 1. 10.1097/AUD.0000000000000569.
- Lewinski, P. (2015).** Effects of classrooms' architecture on academic performance in view of telic versus paratelic motivation: a review. *Frontiers in Psychology*, 6(746), 1-5. 10.3389/fpsyg.2015.00746
- Ljung, R., Sörqvist, P. & Hygge, S. (2009).** Effects of road traffic noise and irrelevant speech on children's reading and mathematical performance. *Noise & Health*, 11(45), 194-8. 10.4103/1463-1741.56212.
- LOI 92-1444 (1992).** LOI n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit. France.
- Machimbarrena, M. & Rasmussen, B. (2016).** Comparison of acoustic regulations for housing and schools in selected countries in Europe and South America – A pilot study. Proceedings of the 22nd International Congress on Acoustics, Buenos Aires – 5 to 9 September.
- Maxwell, L. & Evans, G. (2000).** The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. *Journal of Environmental Psychology*, 20(1), 91-97. 10.1006/jenvp.1999.0144.
- Maxwell, L. (2016).** School building condition, social climate, student attendance and academic achievement: A mediation model. *Journal of Environmental Psychology*, 46, 206-216. 10.1016/j.jenvp.2016.04.009.
- Mealings, K. (2016).** Classroom acoustic conditions: Understanding what is suitable through a review of national and international standards, recommendations, and live classroom measurements. Proceedings of ACOUSTICS 2016, 9-11 November 2016, Brisbane, Australia
- Mikulski, W. & Radosz, J. (2011).** Acoustics of classrooms in primary schools – Results of the Reverberation Time and the Speech Transmission Index Assessments in Selected Buildings. *Archives of Acoustics*, 36(4), 777-793. 10.2478/v10168-011-0052-6
- MINEDUC (1999).** Guía de Diseño de Espacios Educativos. Ministerio de Educación de Chile.
- MINEDUC (2015).** Criterios de Diseño para los Nuevos Espacios Educativos – En el marco del fortalecimiento de la educación pública. Ministerio de Educación de Chile.



ENGLISH VERSION.....

- MMA (2016).** Mapa de Ruido del Gran Santiago. Ministerio del Medio Ambiente. Obtenido a través de Solicitud de Acceso a la Información Pública, Octubre 2017.
- Moore, D. (2002).** Auditory development and the role of experience. *British Medical Bulletin*, 63, 171-181. 10.1093/bmb/63.1.171
- NBN S 01-400-2 (2012).** Le confort acoustique au sein des établissements scolaires. Bureau for Standardisation, Belgium.
- Nelson P. & Soli S. (2000).** Acoustical barriers to learning children at risk in every classroom. *Language Speech and Hearing Services in Schools*, 31(4), 356-361. 10.1044/0161-1461.3104.356
- Neuman, A., Wróblewski, M., Hajicek, J., Rubinstein, A. (2010).** Combined effects of noise and reverberation on speech recognition performance of normal-hearing children and adults. *Ear and Hearing*. 31(3), 336-44. 10.1097/AUD.0b013e3181d3d514.
- NS 8175 (2008).** Lydforhold i bygninger, Lydklassifisering av ulike bygningstyper. Standard Norge.
- OECD (2010).** The high cost of low educational performance: The long-run economic impact of improving Pisa outcomes. Organisation for Economic Co-operation and Development, Programme for International Student Assessment. 10.1787/9789264077485-en
- PN-B-02151 (2018).** Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach. Polski Komitet Normalizacyjny.
- Rasmussen, B., Brunskog, J. & Hoffmeyer, D. (2012).** Reverberation time in class rooms – Comparison of regulations and classification criteria in the Nordic countries. Proceedings of BNAM, Odense, Denmark
- Rasmussen, B. & Guigou-Carter, C. (2016).** A pilot study on acoustic regulations for schools – Comparison between selected countries in Europe. Proceedings of Internoise, Hamburg, Germany.
- SFS 5907:en (2004).** Rakennusten akustinen luokitus. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Shield, B. & Dockrell, J. (2003).** The Effects of Noise on Children at School: A Review. *Journal Building Acoustics*, 10(2), 97-116. 10.1260/135101003768965960.
- Shield, B. & Dockrell, J. (2008).** The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(1), 133-44. 10.1121/1.2812596.
- SS 02 52 68 (2001).** Acoustics – Sound classification of spaces in buildings – Institutional premises, rooms for education, preschools and leisure time centres, room for office works and hotels. Swedish Standards Institute.
- Tanner, C. (2009).** Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*, 47(3), 381-399. <http://dx.doi.org/10.1108/09578230910955809>
- Torchia, F., Ricciardi, P., Scrosati, Ch., & Scamoni, F. (2015).** Improvement of façades' sound insulation of schools near the Bergamo - Orio al Serio International Airport: Case study. *Journal Building Acoustics*, 22(2), 123-142. 10.1260/1351-010X.22.2.123
- Uline, C. & Tschannen-Moran, M. (2008).** The walls speak: the interplay of quality facilities, school climate, and student achievement. *Journal of Educational Administration*, 46(1), 55-73. 10.1108/09578230810849817
- Vallet, M. & Karabiber, Z. (2002).** Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings. *Noise Control Engineering Journal*, 50(2), 58-62. 10.3397/1.2839678
- Werner L. (2007).** Issues in human auditory development. *Journal of Communication Disorders*, 40(4), 275-283. 10.1016/j.jcomdis.2007.03.004
- Wróblewska, D. (2010).** Acoustical standards used in design of school spaces. *Acta Physica Polonica A*, 118(1), 186-189.

