

Condiciones acústicas en las aulas de clase: Una revisión de la literatura

Acoustic conditions in classrooms: A literature review

Armando Engels Duran Uron



Daniela Sofía Rodríguez Barraza



Marjith Gabriela Jimeno Martínez



Angie Isabel Meléndez Serrano



Daniel Alfonso Mendoza Cáceres



Universidad del Atlántico, Colombia

Wlamyr Palacios Alvarado



Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

OPEN ACCESS

Recibido: 20/04/2021

Aceptado: 07/07/2021

Publicado: 10/09/2021

Correspondencia de autores:

armando.duran@mail.uniatlantico.edu.co



Copyright 2020
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Realizar una revisión de la literatura relacionada con normas y criterios utilizados en la acústica de las aulas de clase y las variables de estudio de tiempo de re verberación, inteligibilidad de la palabra y ruido de fondo. **Metodología:** Se realizó una búsqueda de artículos en la base de datos Scopus, publicados entre enero de 2015 y agosto de 2020, relacionados con la calidad acústica en las aulas de clase cuyas variables de estudio fueran el tiempo reverberación, inteligibilidad de la palabra y/o ruido de fondo. **Resultados:** La literatura recopilada mostró que el 31.1% de los estudios evaluaron el tiempo de reverberación y que así mismo, este es el parámetro que se incumple en mayor medida. Se identificó que la calidad acústica en las aulas de clase es predominantemente mala. El 37.8% de las causas de discomfort acústico en las aulas estuvieron asociadas a la ausencia de materiales de absorción acústica. **Conclusiones:** Se concluye que la cantidad de estudios en calidad acústica de los recintos educativos es significativa, y que éstos, muestran la necesidad de mejoras en los aspectos constructivos de las instituciones.

Palabras clave: Acústica, reverberación, inteligibilidad, ruido.

Abstract

Objective: To carry out a literature review of acoustics in classrooms, including standards, criteria and study variables such as reverberation time, speech intelligibility and background noise. **Methodology:** A search was made for articles in the Scopus database, published between January 2015 and August 2020, related to acoustic quality in classrooms whose study variables were reverberation time, speech intelligibility and / or noise. background. **Results:** The collected literature showed that the 31.1% of the studies evaluated the reverberation time and that this is also the parameter that is violated to a greater extent. Acoustic quality in classrooms was identified as predominantly poor. The 37.8% of the causes of acoustic discomfort in the classrooms were associated with the absence of acoustic absorption materials. On the other hand, the 24.4% of the measures to improve acoustic variables are related to acoustic absorption treatments. **Conclusions:** It is concluded that the number of studies on acoustic quality of educational facilities is significant, and that these show the need for improvements in the constructive aspects of the institutions.

Keywords: Acoustics, reverberation, intelligibility, noise.

Introducción

La Calidad Ambiental Interior (IEQ, Indoor environmental quality, por sus siglas en inglés) se compone de distintos factores del ambiente como el nivel de temperatura, aire interior, iluminación y acústica [1], factores que se dividen en cuatro categorías: confort térmico, calidad del aire interior, confort visual y confort acústico, cuyo estudio permite identificar los controles necesarios que deben hacerse a éstos y que así mismo deben considerar los diseñadores [2].

La calidad del entorno académico depende de distintos aspectos y las deficiencias de uno u otro de ellos pueden tener impacto sobre el confort y la percepción de bienestar de los estudiantes y profesores, así como en su salud, razón por la cual el estudio de dichos factores es relevante, dado que sienta las bases para la posterior identificación de mejoras de la Calidad Ambiental Interior.

El confort acústico hace parte de la calidad del medio en las aulas y puede definirse como el nivel de sonido que es armonioso y no afecta la salud del ser humano. La calidad de la acústica en las aulas se evalúa a partir de tres parámetros: Tiempo de reverberación, que se refiere al tiempo que tarde la intensidad del sonido en caer a 60 dBA; Inteligibilidad de la palabra, que puede definirse como el nivel de claridad del mensaje y el Ruido de fondo que puede definirse como el sonido del medio que afecta la acústica.

Se dispone de estudios de la acústica en las aulas de clase que hacen posible conocer, a nivel mundial, cuáles es el estado de las instituciones educativas en esta materia. Los trabajos encontrados demuestran que los valores de la inteligibilidad disminuyen al aumentar el tiempo de reverberación [3], el mismo que se puede mejorar con la aplicación de materiales de absorción [4].

Se exponen estudios de la acústica en las aulas de clase a nivel mundial y se presenta un análisis de las estadísticas encontradas relacionadas con las variables de estudio, causas de desconfort acústico, medidas de mejoramiento, entre otros aspectos.

Metodología

Se revisó la base de datos Scopus y se tomaron 45 estudios relevantes relacionados con la calidad acústica de las aulas de clase, publicados entre enero de 2015 y agosto de 2020, más específicamente aquellos relacionados con las variables acústicas tiempo de reverberación, inteligibilidad de la palabra y ruido de fondo. De los estudios seleccionados, se recopiló y organizó la siguiente información: título del estudio, tipo de estudio, fecha del estudio, autores, parámetros usados, norma que soporta el parámetro, resultados obtenidos, causas del desconfort acústico y medidas sugeridas. Posterior a esto, se hizo un análisis de los aspectos encontrados.

Revisión de la literatura: la acústica en las aulas de clase

La acústica en las aulas de clase ha evolucionado con el paso de los años y se ha concentrado principalmente en la influencia que tienen la sala y el individuo en la inteligibilidad de la palabra [5]. Con el estudio de los parámetros acústicos se ha buscado lograr la adaptación de las estructuras educativas a las demandas en términos de salud auditiva, seguridad en el trabajo y, especialmente, los estándares y lineamientos normativos para las instituciones educativas [6].

Uno de los parámetros más estudiados es el tiempo de reverberación, éste se ha analizado en diferentes escenarios, calculando los valores de esta variable antes y después de los tratamientos acústicos realizados de acuerdo con la opinión de los alumnos y midiendo, así mismo, el nivel de discomfort acústico [7]. En el contexto de medir y evaluar la acústica en las aulas de clase, Baruch et al. [8] afirman que, al medir el coeficiente de absorción acústica en las pruebas modeladas, la precisión de ésta no se ve afectada por la humedad relativa del aire, motivo por el cual las mediciones se pueden llevar a cabo en la humedad del aire ambiente del recinto en el cual se realiza la prueba. Es decir, que no se hace necesario considerar la humedad del aire ambiente y por esta razón es posible llevar a cabo las mediciones en el medio sin ninguna alteración.

Parámetros para evaluar las variables acústicas

La fórmula de Sabine es un método calculado de forma empírica a partir del cual es posible calcular el tiempo que tarde el sonido en bajar a 60 decibles, expresado en segundos, lo que también se conoce como RT-60. Igualmente es un método comúnmente utilizado para el cálculo del tiempo de reverberación de los recintos. En el aula ocupada se encuentran factores que aumentan la absorción del sonido, como son los muebles, ropa, personas, útiles escolares, es por esto que el RT-60 es calculado, generalmente, en aulas desocupadas. El cálculo del tiempo de reverberación con la fórmula de Sabine depende de dos factores: el volumen del recinto y la cantidad de absorción en el medio [9].

Nowoświat y Olechowska [10] proponen el uso del método de minimización residual a partir del cual se determina un coeficiente que pueda usarse como corrector de la fórmula de Sabine, agregando valor a la misma, este método ha sido utilizado para aplicar medidas correctivas en las aulas. En el estudio del tiempo de reverberación, la norma internacional BB93 establece que se debe definir un RTmid, que constituye un valor resultante del promedio de los tiempos de reverberación calculados en 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz [11].

Denison y Anderson [12] aplicaron el método de fuente de imagen para simular un grupo de habitaciones con características de absorción y volumen distintas, encontrando que a menor absorción disminuye la calidad temporal mientras aumenta la amplitud focal máxima y la claridad de enfoque, y que este mismo efecto se tiene a mayor volumen. Los métodos y criterios para la estimación del tiempo de reverberación permiten su identificación y evaluación de tal forma que sea posible proponer medidas útiles para mejorar las condiciones de las aulas de clase.

En relación con el estado de la acústica en las aulas de clase, los investigadores han puesto de manifiesto la insuficiencia de los aspectos constructivos respecto a los requisitos acústicos de los edificios escolares [13]. Wayne et al. [14] compararon el tiempo de reverberación calculado en las aulas de clase de escuelas de primaria en Brisbane, Australia, con las normas australianas AS IEC 61672.1-2004, AS/NZS 2107:2016 y éste, presentó una tasa de falla del 79% en comparación con la norma. En un estudio realizado en aulas de clase de Sudáfrica se encontró que todas las aulas presentaron niveles de ruido excesivo y que su fuente principal fue el ruido externo, más específicamente el ruido aéreo y el ruido proveniente de aulas contiguas [15].

Así mismo las fuentes de ruido pueden estar en el ruido de los pasillos, aulas adyacentes y ruido del patio de recreo [16], este fue el caso de las aulas en una universidad de Corea, para la que sus materiales de construcción fueron mejorados a partir del tratamiento con materiales difusores y de absorción [17]. Shatha AJ Ibrahim [18] realizó mediciones del ruido de fondo en las aulas desocupadas encontrando que éste oscilaba entre 50 y 60 dBA, valores superiores a los establecidos por las normas ANSI:S12.60-2002;

DIN4109:1989-11; DIN 18041 : 2016; ISO 3382:2009). En relación con lo anterior, Redman et al. [19] realizaron un estudio para el cual en el 75% de las aulas estudiadas, el ruido medido fue mayor al recomendado por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional.

Como se puede observar, el ruido de fondo en las aulas de clase se encuentra predominantemente por encima de los estándares establecidos y puede tener su fuente tanto en el interior como en el exterior del aula. La tabla 1 muestra los valores recomendados para las variables tiempo de reverberación y ruido de fondo en las aulas de clase, de acuerdo con tres normas reconocidas.

Tabla 1. Valores TR y ruido de fondo recomendados

Norma	Valor tiempo de reverberación	Valor ruido de fondo
ANSI S12.60	0.6-0.7 s	35 dB
BB93	0.8 s	35 dB(A)
NTC 4595	1 s	45 dB

Fuente: Elaboración propia

Para la regulación de las variables acústicas de las aulas de clase en Colombia, la norma NTC 4595 dicta lineamientos relacionados con la adecuación que deben tener los salones dispuestos para el desarrollo de las actividades de enseñanza – aprendizaje [20]. Se identificó una relación entre los rangos de edades de los individuos y la acústica en las aulas, pues se afirma que los estudiantes universitarios generan menos ruido en sus salones en comparación con los alumnos más jóvenes en aulas de clase de primaria [21].

Por su parte, y en cuanto a la medición de variables de ruido, Cantor Cautiva et al. [22] recomiendan medir durante 15 minutos. Si no es posible, se recomienda medir durante mínimo cinco minutos de tal forma que sea posible considerar el clima, los cambios de tráfico y otras fuentes de ruido. Aunque se recomienda medir al menos cinco minutos, puede ser necesario aumentar el tiempo para recolectar muestras significativas de las condiciones en las que opera la fuente.

La inteligibilidad de la palabra depende de los valores del tiempo de reverberación, puesto que largos tiempos de reverberación producen una mala inteligibilidad de la palabra. La evidencia muestra que la aplicación de tratamientos con material absorbente produce mejoras en los niveles de inteligibilidad [23]. Goverts et.al. [24] encontraron que aproximadamente un 13% de las aulas mostrarían una excelente inteligibilidad del habla a cinco metros frente al orador, más en posiciones más representativas la inteligibilidad del habla del 100% de éstas no se encontraría excelente.

Parámetros acústicos y percepción acústica

Considerando que el mensaje oral se ha convertido en el medio más utilizado para la educación en el mundo, un punto interesante a discutir al considerar los parámetros acústicos es su impacto en la salud y los procesos educativos. Se afirma que la reverberación o el ruido de fondo pueden tener impactos negativos para el procesamiento auditivo y conllevar a que se realicen esfuerzos cognitivos elevados [25]. Se encontró que las condiciones básicas para garantizar la salud de los profesores durante el horario laboral no son satisfactorias, identificando que los profesores estaban expuestos a niveles de intensidad vocal superiores a los límites tolerables para la salud auditiva, factor que está directamente relacionado con la salud auditiva de los estudiantes [26].

La literatura indica que la mala acústica en las aulas tiene impactos negativos en los procesos educativos, en especial en los más bajos grados de enseñanza. Se afirma que los niños pequeños se ven influenciados negativamente por los largos tiempos de reverberación, factor que se encuentra asociado a una acústica pobre, de tal forma que disminuye su capacidad de divertirse y sentirse felices consigo mismos [27]. Sin embargo, la tendencia promedio de los resultados actuales muestra que, en comparación con los estudiantes jóvenes de la escuela primaria, los adultos jóvenes de las universidades necesitan un valor SNR bastante bajo para obtener una puntuación de inteligibilidad correcta del 95% [28].

Xiaojing et al. [29] identificaron a partir de encuestas que los estudiantes se sintieron perturbados por el ruido del tráfico y que tanto como aumentaba el nivel del tráfico así mismo aumentó el grado de perturbación; este estudio demostró que, en un mayor porcentaje, los estudiantes consideraron que el ruido era "extremadamente molesto", en comparación con quienes lo consideraron bastante, moderadamente o ligeramente molesto.

El entorno acústico de aulas escolares es perjudicial para la comunicación, lo que también constituye un riesgo ocupacional de la voz [30]. De una encuesta realizada en una universidad de Brasil se encontró que el 100% de los profesores percibe el ruido, así como el 88.9% de los estudiantes. El 74% de los estudiantes indica que el ruido interfiere con la concentración al interior del aula, así mismo el 80% de los profesores. De igual manera, el 85% de los profesores indicó que era necesario hablar más alto de lo habitual dada la presencia de ruido [31].

Özgüven y Bayazit [32] observaron que, al mejorar las condiciones acústicas del aula, también mejoró la comprensión de las palabras por parte de los estudiantes, manifestando que las diferencias en el estado anterior a las mejoras acústicas en comparación con el estado después de ella demostraron la importancia de las condiciones acústicas de las aulas para el aprendizaje. Se encontró que después de la mejora, la inteligibilidad del habla en el aula aumentó, registrando valores dentro de los límites establecidos por el estándar.

El personal educativo y profesores se enfrentan a riesgos por factores de estrés en el sitio de trabajo. En distintos tipos de escuelas, más de la mitad de los profesores encuestados identificaron el ruido de fondo en su institución como perturbador o inapropiado, estableciendo este parámetro como el primero entre todos los factores de estrés incluidos en la encuesta [33]. El nivel de bienestar, tanto de estudiantes como profesores, estaría directamente relacionado con la evaluación que el individuo realiza de la calidad y el confort acústico en el aula de clase, así como el grado de satisfacción que tiene con cada uno de ellos. Así mismo, los niveles de los parámetros acústicos podrían influenciar o no la percepción de bienestar que tengan los estudiantes.

Medidas de mejoramiento de la acústica en las aulas de clase

Diversos métodos han aportado al estudio de mejoras a la acústica de las aulas de clase desde diversos puntos de vista. Zrneková et al. [34] proponen la aplicación de paneles acústicos de lana mineral recubierta de yeso ubicados en el centro de la sala. La cantidad de material de absorción acústica dependería del tamaño del aula, es decir de su volumen, y sería repartido a lo largo del techo y las paredes de ésta [11]. En el campo de la acústica de centros educativos, se ha distinguido la simulación con propósitos de identificar los mejores materiales para paneles acústicos y determinar la mejor ubicación de estos materiales en el aula [35].

Se discrepa respecto al uso de aberturas en las aulas. Aguilar y Tilano [11] indican que se debe evitar la aplicación de aberturas para ventilación del aula, en especial aquellas que atraviesan directamente las paredes o fachada de la misma. Sin embargo, da Silva y da Rosa Oiticica [36] señalan que al aumentar el área de abertura de las ventanas se logran mejoras en la acústica, encontrando que al aumentar el área de abertura en un 5%, el tiempo de reverberación mejoró de un 10% a 19%, el STI mejoró de un 5% a 10% y así mismo, el %ALCons mejoró entre un 13% y 20%.

Resultados: Análisis de la literatura

Se encontró que el 33.3% de los estudios se realizaron en el año 2020, el 33.3% en el año 2016, el 13.3% de los estudios se realizaron en el año 2019, el 8.9% en el año 2015, el 6.7% en el año 2018 y el 4.4% en el 2017.

El 100 % de los estudios fueron de tipo artículo.

Variables de estudio

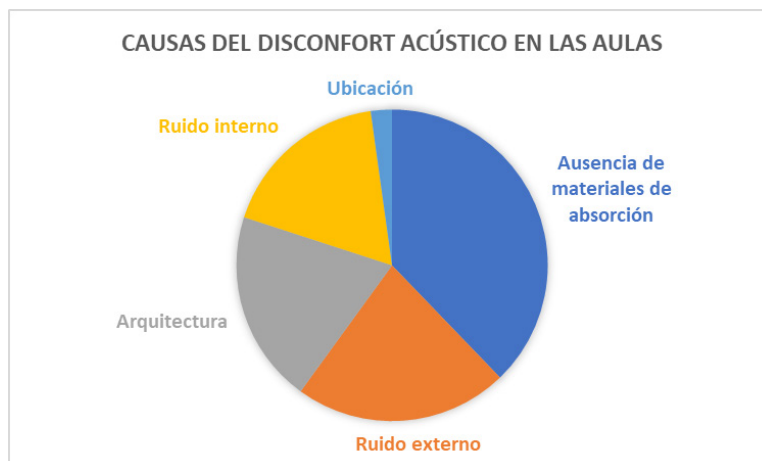
El 31.1% de los estudios evaluaron el tiempo de reverberación, el 24.4% de los estudios evaluaron los parámetros de tiempo de reverberación e inteligibilidad de la palabra conjuntamente, el 17.8% de los estudios evaluaron los parámetros de ruido de fondo y tiempo de reverberación simultáneamente, el 8.9% de los estudios evaluaron los parámetros de inteligibilidad de la palabra, ruido de fondo y tiempo de reverberación conjuntamente, el 8.9% de los estudios evaluaron el ruido de fondo, el 6.7% de los estudios evaluaron la inteligibilidad de la palabra y el 2.2% de los estudios evaluaron los parámetros de inteligibilidad de la palabra y ruido de fondo simultáneamente.

Los resultados obtenidos indican que en mayor medida el parámetro que se incumple es el tiempo de reverberación y en segundo lugar el ruido de fondo. Los resultados arrojaron que la calidad acústica en las aulas de clase es predominantemente mala.

Causas del discomfort acústico

La figura 1 muestra las causas de discomfort acústico identificadas en el estudio.

Figura 1. Causas del discomfort acústico en las aulas de clase



Fuente: Elaboración propia

El 37.8% de las causas están asociadas con la ausencia de materiales de absorción acústica, el 22.2% con el ruido externo, es decir aquel que proviene de otros salones adyacentes, el aire libre y/o ruido del tráfico. Por su parte, el 20% de las causas están asociadas con la arquitectura del aula, el 17.8% con el ruido interno (sistemas de ventilación, proyectores, entre otros) y el 2.2% con una ubicación cercana a carreteras.

Medidas de mejoramiento

En cuanto a las medidas sugeridas, el 24.4% de éstas, están asociadas con tratamientos de absorción acústica, medida que se encontró relacionada con la variable de tiempo de reverberación en el componente de coeficiente de absorción, es decir, considerando el tipo de material que debe utilizarse en el recinto educativo. La literatura muestra diferentes tratamientos como la utilización de un tablero de yeso para pared y madera contrachapada de 12 mm de espesor para el techo con el fin de mejorar los coeficientes de absorción de los materiales del aula [9].

Por otro lado, se identificó la realización de varias simulaciones para identificar el mejor material de paneles acústicos a utilizar y luego de esto, teniendo en cuenta el costo de los paneles y sus principales características (incombustible, características antibacterianas), elegir paneles absorbentes de sonido innovadores en el campo de la corrección acústica, como fue el caso de los paneles Stratocell Whisper (espuma de polietileno insonorizante) [35].

Así mismo, la literatura muestra el uso de tratamiento con materiales difusores y de absorción para mejorar la acústica de las aulas de clase, en uno de los casos los paneles acústicos seleccionados fueron de lana mineral recubierta de yeso y dimensiones de 600x1200x50 mm [34].

En otro estudio, el sistema de carpintería en el recinto educativo se eliminó por completo, se integró a la pared una carpintería de PVC de Saray Aluminium Company como equivalente, sin cambiar el aspecto de la pared, y se repitieron todas las medidas y pruebas de inteligibilidad, cuatro paneles acústicos con superficie revestida de tela e interior a base de lana de vidrio de 120 cm, se montaron 300 cm con un espesor de 4 cm en las dos paredes adyacentes, aplicación que permitió emplear un material de alto nivel de absorción en el entorno y utilizar paneles como tableros [32]. Por otro lado, se identificaron medidas relacionadas con el diseño de sistemas de refuerzo de sonido para los recintos, donde se compararon los valores medidos y predichos usando el programa ODEON [23].

El 22% de las medidas de mejoramiento encontradas sugiere complementar los estudios con métodos de simulación, lo anterior estuvo relacionado con el mejoramiento de la inteligibilidad de la palabra y el tiempo de reverberación. Así mismo, se recomienda el uso de softwares, entre ellos Ecotect Analysis, para calcular las características de sonido dentro de los recintos [4]. Se destaca la implementación de MATLAB en los parámetros objetivos utilizados para la descripción de la calidad acústica de la sala (tiempo de Reverberación RT e índice de transmisión de voz STI) [37].

El 33.3% de las medidas sugeridas encontradas están asociadas con la aplicación de los requisitos de las normas relacionadas con la acústica de las aulas de clase, haciendo énfasis en la necesidad de una aplicación más estricta y detallada de estas directrices.

El 8.9% de las medidas sugeridas están asociadas con realizar mediciones rutinarias de la acústica, esta medida tuvo como objetivo el mejoramiento de las variables ruido de fondo e inteligibilidad de la palabra. Los estudios investigados sugirieron que se deben realizar métodos característicos de estas variables en pro de mejorar la acústica, investigar la adaptación del habla del speaker en entornos de aula reales en

términos de inteligibilidad del habla y reconsiderar las pautas acústicas de aulas de clase en vista de la inteligibilidad tanto del oyente como del hablante [5], al igual que realizar más pruebas y así examinar las condiciones ideales de SNR (relación señal/ruido) para comprender mejor los sonidos del habla con menos dificultad en situaciones reales de clase en la universidad [28]. En uno de los artículos se hace un análisis teórico de estas variables estudiadas basadas en fórmulas ISO 9613-1 que describen la absorción acústica del aire [8].

El 6.7% de las medidas sugeridas están asociadas con tomar acciones de sensibilización sobre los efectos del ruido en la salud, medida que se aplicó al mejoramiento del ruido de fondo. El 2.2% de las medidas sugeridas encontradas, están asociadas con cambiar la ubicación a sitios alejados del ruido.

Por último, el 2.2% de las medidas sugeridas encontradas están asociadas con utilizar algoritmos dedicados a mejorar la acústica de las aulas, esta medida se encontró direccionada a mejorar el tiempo de reverberación en las aulas de clase. Sin embargo, Mzah y Jaidane [38] proponen el uso de algoritmos dedicados a los sistemas de megafonía, con el fin de mejorar la variable inteligibilidad de los anuncios vocales emitidos en espacios públicos cerrados ruidosos y reverberantes.

Distintos estudios evidencian la necesidad de mejoras en la acústica de las aulas de clase dado los niveles actuales de los parámetros acústicos en comparación con los estándares a nivel mundial [39,40,41,42, 43,44,45,46,47,48,49,50], razón por la cual el conocimiento de las medidas de mejoramiento anteriormente mencionadas sería útil para aumentar los niveles de calidad de la acústica en las instituciones educativas.

Conclusiones

Se concluye que se cuenta con una cantidad significativa de estudios en calidad acústica de los recintos educativos los cuales han puesto en evidencia que, en su mayoría, se requieren mejoras en la arquitectura y materiales de las instituciones educativas, lo cual se ha abordado principalmente con la aplicación de tratamientos con materiales de absorción. Así mismo, se evidenció que la calidad acústica puede tener impactos en la percepción de bienestar y en la salud de los estudiantes y profesores y que, porcentajes significativos de esta población percibe el ruido como un factor perturbador.

Así mismo, se encontró que el Discomfort acústico puede tener sus causas en factores que van desde la ausencia de materiales de absorción del sonido en el aula hasta la ubicación que ésta pueda tener. De igual forma, se evidenció la aplicación de métodos matemáticos como algoritmos y simulaciones para la identificación de mejoras en la acústica de los centros educativos.

Referencias bibliográficas

1. D. Yang y C. Mak, "Relationships between indoor environmental quality and environmental factors in university classrooms," *Building and Environment*, Vol. 186, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107331>
2. S. Korsavi, A. Montazami, D. Mumovic, "The impact of indoor environment quality (IEQ) on school children's overall comfort in the UK; a regression approach," *Building and Environment*, Vol. 185, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107309>
3. J. Pengy S. Wu. "Chinese speech intelligibility of children in noisy and reverberant environments," *Indoor and Built Environment*, vol. 27, no. 10, pp. 1357-1363, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X17716236>
4. H. Shih, Y. Chou, S. Hsia, "Improvement on acoustic characteristics of a small space using material selection," *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, vol. 33, no. 6, pp. 1800-1809, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1108/EC-07-2015-0193>
5. N. Subramaniam y K. Ramamurthy, "Effect of mode of delivery and background noise on speech characteristics of talkers in a classroom environment," *Building Acoustics*, vol. 27, no. 2, pp. 113-135, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/1351010X19896346>
6. P. Moquin y E. Buchan, "Acoustics in Alberta Schools - Overview and challenges," *Infraestructura de Alberta, Subdivisión de Servicios Técnicos*, Vol. 44, no. 3, pp. 82-83, Edmonton, Sep. 2016.
7. J. Dolejší y F. Dolejší, "Classroom acoustic study," *Akustika*, vol. 25, no. 1, pp. 46-54, 2016. DOI: <https://www.journalakustika.com/journal/volume-25/>
8. K. Baruch, A. Majchrzak, B. Przysucha, A. Szeląg, T. Kamisińska, "The effect of changes in atmospheric conditions on the measured sound absorption coefficients of materials for scale model tests," *Applied Acoustics*, vol. 141, pp. 250-260, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.016>
9. R. Abdullah, S. Ismail, N. Dzulkefli, "Potential acoustic treatment analysis using sabine formula in unoccupied classroom," *2ª Conferencia Internacional Conjunta sobre Tecnología Informática Emergente y Deportes*. Vol. 1529, no. 2, Jun. 2020. DOI: [doi:10.1088/1742-6596/1529/2/022031](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/2/022031)
10. A. Nowoświat y M. Olechowska, "Estimation of Reverberation Time in Classrooms Using the Residual Minimization Method," *Archives of Acoustics*, vol. 42, no. 4, pp. 609-617, 2017. DOI: [10.1515/aoa-2017-0065](https://doi.org/10.1515/aoa-2017-0065)
11. J. Aguilar y L. Tilano, "Measurement of classroom acoustic parameters in the public schools of Medellin," *International Journal of Acoustics and Vibrations*, vol. 24, no 1, pp. 50-55, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20855/ijav.2019.24.11161>
12. M. Denison y B. Anderson, "Time reversal acoustics applied to rooms of various reverberation times," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 144, no. 6, pp. 3055-3066, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.5080560>
13. P. Pinho, M. Pinto, R. Almeida, S. Lopes, L. Lemos, "Aspects concerning the acoustical performance of school buildings in Portugal," *Applied Acoustics*, vol. 106, pp. 129-134, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.01.002>
14. W.J. Wilson *et al.*, "The 'acoustic health' of primary school classrooms in Brisbane, Australia," *Speech, Language and Hearing*, vol. 23, no. 3, pp. 189-196, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/2050571X.2019.1637042>
15. D. Pillay y B.L. Vieira, "Noise, screaming and shouting: Classroom acoustics and teachers' perceptions of their voice in a developing country". *South African Journal of Childhood Education*, Vol. 10, no. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4102/sajce.v10i1.681>

16. J. Peng, S-K. Lau, Y. Zhao, "Comparative study of acoustical indices and speech perception of students in two primary school classrooms with an acoustical treatment". *Applied Acoustics*, Vol. 164, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107297>
17. Y.-J. Choi, "Experimental investigation of the combination of absorptive and diffusing treatments in classrooms," X Congreso y Exposición Europea sobre Ingeniería de Control de Ruido, Euronoise 2015, pp. 681-684, Maastricht, jun. 2015.
18. S.A.J. Ibrahim, "Room mode analysis for classrooms: A case study in the College of Engineering," 1^{er} Congreso Internacional de Ingeniería y Tecnología Avanzada, Vol. 870, no. 1, Feb. 2020. DOI: 10.1088/1757-899X/870/1/012061
19. Y. Redman, C. Vercelli, L. Cantor, P. Bottalico, "Work-Related Communicative Profile of Voice Teachers: Effects of Classroom Noise on Voice and Hearing Abilities," *Journal of Voice*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.05.021>
20. De Instalaciones, Planeamiento y Diseño. Norma Técnica Colombiana NTC 4595 [en línea]. 2015. [consultado: 5-nov-2020]. Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-96894_Archivo_pdf.pdf
21. Y.-J. Choi, "Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active university classrooms", *Applied Acoustics*, Vol. 159, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107089>
22. G.E. Puglisi, A. Astolfi, L. Cutiva, A. Carullo, "Assessment of indoor ambient noise level in school classrooms," X Congreso y Exposición Europea sobre Ingeniería de Control de Ruido, Euronoise 2015, pp. 715-720, Maastricht, jun. 2015
23. B. Kostek, S. Laskowski, K. Mizgier, "Modeling and Designing Acoustical Conditions of the Interior - Case Study," *Archives of Acoustics*, vol. 41, no. 3, pp. 473-484, 2016. DOI: 10.1515/aoa-2016-0044
24. K. Heuij, T. Goverts, K. Neijenhuis, M. Coene, "Challenging listening environments in higher education: an analysis of academic classroom acoustics, *Journal of Applied Research in Higher Education*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/JARHE-05-2020-0112>
25. F. Gheller, E. Lovo, A. Arsie, R. Bovo, "Classroom acoustics: Listening problems in children," *Building Acoustics*, vol. 27, no. 1, pp. 47-59, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/1351010X19886035>
26. G. Levandoski y P.H.T. Zannin, "Quality of Life and Acoustic Comfort in Educational Environments of Curitiba, Brazil", *Journal of Voice*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.05.030>
27. A. Astolfi et al., "Influence of Classroom Acoustics on Noise Disturbance and Well-Being for First Graders," *Frontiers in Psychology*, Vol. 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02736>
28. Y.-J. Choi, "The intelligibility of speech in university classrooms during lectures". *Applied Acoustics*, Vol. 162, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107211>
29. X. Wen, et al., "Impacts of traffic noise on roadside secondary schools in a prototype large Chinese city," *Applied Acoustics*, vol. 151, pp. 153-163, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.02.024>
30. E. Sala y L. Rantala, "Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland," *Applied Acoustics*, vol. 114, pp. 252-259, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.009>
31. F. Dias, B. dos Santos, H. Mariano, "Sound pressure levels in classrooms of a University and its effects on students and professors". *CODAS*, vol. 31, no. 4, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1782/20182018093>
32. I.Z.S. Özgüven y N.T. Bayazit, "An experimental study to investigate speech intelligibility and sound quality in elementary schools," X Congreso y Exposición Europea sobre Ingeniería de Control de Ruido, Euronoise 2015, pp. 1779-1784, Maastricht, jun. 2015.

33. K. Schöne, M. Schäfer, P. Dreyer, K. Sommer-Schickert, D.-M. Rose, "Acoustic situation in schools - Experience and findings of the Institute for Teacher Health," *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, vol. 51, no. 10, pp. 724-729, 2016.
34. J. Zrneková, P. Zafko, D. Garcia, M. Rychtáriková, "Effective sound absorption of acoustic panels in a diffuse and non-diffuse sound field," X Congreso y Exposición Europea sobre Ingeniería de Control de Ruido, Euronoise 2015, pp. 1467-1470, Maastricht, jun. 2015
35. D. Russo y A. Ruggiero, "Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification," *Applied Acoustics*, vol. 146, pp. 280-287, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.019>
36. J.T. da Silva y M.L.G. da Rosa Oiticica, "Influence of the openings size on acoustic quality of naturally ventilated classrooms," X Congreso y Exposición Europea sobre Ingeniería de Control de Ruido, Euronoise 2015, pp. 1737-1742, Maastricht, jun. 2015
37. J. Kociński y D. Niemiec, "Time-compressed speech intelligibility in different reverberant conditions," *Applied Acoustics*, vol. 113, pp. 58-63, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.06.009>
38. Y. Mzah y M. Jaidane, "Noise-robust reverberation time estimation based on sound HOS decay," 45 ° Congreso y Exposición Internacional sobre Ingeniería de Control de Ruido: Hacia un Futuro más Tranquilo, INTER-NOISE 2016, pp. 3193-3202, Hamburgo, 2016
39. Y.-J. Choi, "Comparison of two types of combined measures, STI and U50, for predicting speech intelligibility in classrooms," *Archives of Acoustics*, vol. 42, no. 3, pp. 527-532, 2017. DOI: [10.1515/aoa-2017-0056](https://doi.org/10.1515/aoa-2017-0056)
40. D. Fogerty, A. Alghamdi, W.-Y. Chan, "The effect of simulated room acoustic parameters on the intelligibility and perceived reverberation of monosyllabic words and sentences", *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 147, no. 5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0001217>
41. N. Trompette y L. Legal, "Reverberation time recommendations for noisy industrial workshops," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 17, no. 9, pp. 426-436, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1791338>
42. N. Antonello, T. van Waterschoot, M. Moonen, P.A. Naylor, "Evaluation of a numerical method for identifying surface acoustic impedances in a reverberant room," X Congreso y Exposición Europea sobre Ingeniería de Control de Ruido, Euronoise 2015, pp. 185-190, Maastricht, jun. 2015
43. N. Faraji, S.M. Ahadi, H. Sheikhzadeh, "Reverberation time estimation based on a model for the Power Spectral Density of reverberant speech," 24a Conferencia europea de procesamiento de señales, pp. 1453-1457, Budapest, 2016
44. D. Cabrera, "Calculating Reverberation Time from Impulse Responses: A Comparison of Software Implementations," *Acoustics Australia*, vol. 44, no. 2, pp. 369-378, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40857-016-0055-6>
45. Z.-C. Qian, Y.-X. Fu, P.-Y. Yu, Z. Deng, W.-W. Chen, "Uncertainty evaluation for the measurement of sound absorbing coefficient in reverberation room," *Jiliang Xuebao/Acta Metrologica Sinica*, vol. 37, no. 4, pp. 411-414, 2016. DOI: [10.3969/j.issn.1673-2812.2004.06.040](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-2812.2004.06.040).
46. P. Zahorik y E.J. Brandewie, "Speech intelligibility in rooms: Effect of prior listening exposure interacts with room acoustics," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 140, no. 1, pp. 74-86, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4954723>

47. P. Bottalico, S. Graetzer, E. Hunter, "Effects of speech style, room acoustics, and vocal fatigue on vocal effort," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 139, no. 5, pp. 2870-2879, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4950812>
48. A. Nowoświat y M. Olechowska, "Fast estimation of speech transmission index using the reverberation time," *Applied Acoustics*, vol. 102, pp. 55-61, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.09.001>
49. A. Robinson y A. Bellert, "Co-teaching in (refurbished) flexible learning spaces: Promoting quality acoustics for learning and collaboration," Conferencia anual de la Sociedad Australiana de Acústica, Acústica 2019 - Decisiones acertadas: Avanzar con la acústica, Australia, nov. 2019
50. A. Laurià, S. Secchi, L. Vessella, "Acoustic comfort as a salutogenic resource in learning environments—a proposal for the design of a system to improve the acoustic quality of classrooms", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 22, pp. 1-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12229733>