

Evaluación de la calidad lumínica y acústica en edificios escolares de clima templado cálido, mediante la aplicación de la metodología MECSA.

Evaluation of lighting and acoustic quality in school buildings in warm temperate climate, through the application of the MECSA methodology.

Yesica Alamino-Naranjo*

Universidad Nacional de San Juan, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
alaminoyesica@gmail.com

Guillermina Ré**

Universidad Nacional de San Juan, Argentina
guillerminare@gmail.com

Fecha de envío: 21 de mayo de 2024

Fecha de aceptación: 29 de octubre de 2024

Fecha de publicación: diciembre 2024

Disponible en: <https://doi.org/10.24215/24226483e141>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

* Doctora en Arquitectura y Urbanismo (FAUD – UNSJ). Arquitecta (UNSJ). Es además Investigadora de la Carrera de Investigación Científica (CONICET). Docente-investigadora del área de Eficiencia Energética del Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA-CONICET-UNSJ). Docente de Posgrado en Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFN – UNSJ).

** Magister en Arquitectura para Zonas Áridas y Sísmicas (UNM). Arquitecta (UNSJ). Investigadora en el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA-CONICET-UNSJ). Docente en la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño (FAUD-UNSJ).

Resumen

El objetivo del trabajo es evaluar y comparar la calidad acústica y lumínica de edificios escolares en clima templado cálido, utilizando la Metodología de Evaluación y Calificación de la Sustentabilidad Ambiental (MECSA). Se busca identificar diferencias y similitudes en las condiciones ambientales entre dos casos de estudio del Área Metropolitana de San Juan. Para ello, se consideran los criterios de confort lumínico y confort acústico, se lleva a cabo una revisión conceptual de los mismos, y se evalúan los casos seleccionados. Los resultados revelan que las escuelas en su estado actual alcanzan 50% y 75% del puntaje máximo posible, evidenciando calidades de nivel “medio”. Se concluye que este enfoque innovador, contribuye a los estudios sobre la evaluación de la sustentabilidad en edificios escolares de la región, y provee la base teórica y metodológica, para futuras propuestas orientadas a mejorar el nivel de confort acústico y lumínico, alcanzando valores “recomendados”.

Palabras clave: aulas, iluminación, acústica, habitabilidad, evaluación.

Abstract

This study aims to evaluate and compare the acoustic and lighting quality of school buildings in a warm temperate climate, using the Environmental Sustainability Assessment and Rating Methodology (MECSA). It seeks to identify differences and similarities in environmental conditions between two case studies of the San Juan Metropolitan Area. To achieve this, the lighting comfort and acoustic comfort criteria are considered, a conceptual review of them is carried out, and the selected cases are evaluated. The results reveal that the schools in their current state reach 50% and 75% of the maximum possible score, evidencing “medium” level qualities. It is concluded that this innovative approach contributes to studies on sustainability assessment in school buildings in the region and provides the theoretical and methodological foundation for future proposals aimed at improving the level of acoustic and lighting comfort, reaching “recommended” values.

Keywords: classrooms, lighting, acoustics, habitability, assessment.

Introducción

Las instituciones educativas se destacan como estructuras de relevancia, al comprender el impacto que generan las condiciones internas en la salud y el desempeño de quienes las utilizan. Se reconoce que los niños que asisten a establecimientos educativos, son más vulnerables ante condiciones ambientales desfavorables en comparación a la resistencia de los adultos (Mansouri, Sriti, y Guedouh, 2022), lo que implica que el efecto del entorno interior en su desempeño, puede ser considerablemente más pronunciado que en contextos dirigidos a un público adulto. Así pues, se destaca la relevancia fundamental de las condiciones ambientales, dentro de los entornos escolares. A esto se suma que, en la actualidad, las sociedades contemporáneas pasan la mayor parte del tiempo en espacios interiores (Kudryashova, et al., 2021). Frente a este panorama, se insiste en la necesidad de establecer condiciones óptimas en espacios escolares, dado que los estudiantes dedican una importante cantidad de tiempo en dichas instalaciones, que supera a cualquier otro lugar durante el año lectivo.

Son diversos los factores ambientales interiores que afectan la sensación de confort, y con ello, el rendimiento escolar de los alumnos. Entre éstos, se destacan la calidad de iluminación y la calidad acústica, como los factores más estudiados desde la perspectiva ambiental. En relación a la calidad lumínica, es importante destacar que alcanzar una iluminación adecuada y efectiva en interiores, no solo implica crear un ambiente confortable y saludable para los ocupantes, sino también fomentar el uso eficiente de la energía. A su vez, una calidad acústica óptima garantiza condiciones auditivas satisfactorias para quienes ocupan el espacio. Aspectos como la claridad del sonido y la reducción del ruido no deseado, son indicadores clave en este sentido.

Investigaciones evidencian que los niveles de ruido en entornos escolares, no solo afectan la capacidad auditiva, sino que también influyen de manera significativa en aspectos más amplios tanto para profesores como alumnos, impactando directamente en la dinámica de enseñanza y en los resultados académicos (Hoang, et al., 2022). Además, el murmullo y la actividad constante de los estudiantes, pueden interrumpir de manera considerable el proceso educativo en escuelas primarias, llevando a los docentes a elevar su tono de voz, lo que puede ser perjudicial para su salud vocal (Hussan, et al., 2022). Otros estudios concluyen en que el ruido en los alumnos, es percibido como un elemento disruptivo y amenazante que incide negativamente en la concentración, y el proceso de aprendizaje en la escuela (Cotana, et al., 2023).

Sobre el factor lumínico, este desempeña un rol notable al influir tanto en el rendimiento académico de los estudiantes como en los costos energéticos de los edificios. En referencia a lo primero, diversas investigaciones señalan la importancia de una iluminación óptima para garantizar el confort visual, la salud ocular y la adecuada visualización de las tareas por parte de los estudiantes (Magero, Nyamari, y Mutisya, 2023). Dichas condiciones impactan directamente en el desarrollo de las tareas educativas (Chen, et al., 2018). Se sabe que este campo de investigación constituye la interdisciplinariedad donde convergen la psicología educativa, la neurología, la oftalmología y la arquitectura (Xu, Liu, Li, y Xia, 2024). Por otro lado, el uso de la energía y el tipo de iluminación en contextos académicos, guarda una estrecha relación con el comportamiento energético del edificio, el consumo eléctrico, y la percepción de la productividad por parte de los estudiantes (Norazman, et al., 2018).

Considerando lo expuesto, se destaca la importancia de promover mejoras en las condiciones acústicas de los espacios y en el diseño lumínico interior, con el fin de potenciar la concentración, la relajación y fomentar el bienestar general de los estudiantes (Hussan, et al., 2022; Karlsson, et al., 2022). Para ello, resulta fundamental disponer de una herramienta de evaluación ágil y precisa, que facilite la comprensión y la calificación de la calidad lumínica y acústica en entornos escolares.

El presente trabajo tiene como objetivo, evaluar y comparar las condiciones de habitabilidad escolar en términos de confort lumínico y acústico, de dos edificios escolares localizados en el Área Metropolitana de San Juan (AMSJ), empleando la Metodología de Evaluación y Calificación de la Sustentabilidad Ambiental (MECSA). Para ello, se lleva a cabo una revisión conceptual de los criterios de herramienta original (Re y Bianchi, 2020). Los resultados alcanzados, representan una significativa contribución a la estructura metodológica previamente citada, en vistas de una nueva versión 2024.

Metodología

La metodología se divide en tres fases. Inicialmente, se realiza una revisión de los criterios de evaluación de Confort Lumínico y Confort Acústico de la herramienta MECSA, y se establecen los indicadores definitivos. Posteriormente, se lleva a cabo el trabajo de campo, que incluye la evaluación de los casos de estudio. Por último, se realiza la ponderación de cada criterio, y su correspondiente cálculo para la obtención de resultados.

Para proceder a la evaluación de cada escuela, se calcula el tamaño de la muestra. El mismo, considera el número de espacios interiores en cada institución, con un margen de error del 10% y un nivel de confianza del 90%. Esto resulta en la evaluación de 20 espacios interiores, por cada caso de estudio.

La selección de estos espacios, es realizada de manera estratégica para abarcar la diversidad tipológica existente, incluyendo diferentes orientaciones, adyacencias, superficies, funciones y materiales. Así, se identifican áreas de aulas, oficinas y bibliotecas.

La sistemática de evaluación se basa en técnicas desarrolladas en trabajos similares, realizados para espacios de oficina (Alamino y Kuchen, 2021), y se adapta a la necesidad del relevamiento propio. Para ello se hace uso de una unidad móvil (UM) de obtención de datos (ver figura 1), que permite trasladar instrumentos de medición dentro del edificio, a fin de concretar el relevamiento de la mayor cantidad de espacios posibles en un tiempo acotado.

La UM se compone de una caja desmontable, con ruedas, y en ella se montan los sensores para el relevamiento de los parámetros: nivel de iluminación y ruido, temperatura operativa y concentración de dióxido de carbono (estos dos últimos resultados serán presentados en próximas publicaciones). Cada sensor permite recolectar valores de los parámetros medidos. Para el caso de la calidad lumínica y nivel de ruido, se identifican:

- a. Calidad lumínica: sensor tipo Luxómetro modelo YK-2005LX. Permite medir Niveles de iluminación (lux) en plano de trabajo en un rango de 000/100.000 Lux en tiempo real. La sensibilidad espectral se corresponde con las exigencias de la curva CIE (International Commission on Illumination) y precisión de $\pm 4\%+2$ dígitos.
- b. Calidad acústica: sensor tipo Decibelímetro modelo SL-4023 SD. Permite medir niveles sonoros (dB) en rango automático: 30 a 130 dB. y en rango manual (3 rangos): de 30 a 80 dB, 50 a 100 dB, 80 a 130 dB. Ponderación de tiempo: rápido/lento. Ponderación de frecuencia de A (dBA)/ C (dBC). La medición llevada a cabo en el presente trabajo se realiza en un rango de 50 a 100 dB, con ponderación de tiempo lento y ponderación de frecuencia A. Vale indicar que el decibelio ponderado dBA, es la unidad en la cual se especifican los niveles máximos sugeridos en las normas y regulaciones relevadas, correspondientes al ámbito nacional e internacional. Esta unidad indica el nivel del ruido en el que se han filtrado las altas y bajas frecuencias, menos perceptibles para el oído humano, alcanzando un máximo

en las medias frecuencias. Ésta se ajusta más adecuadamente a la percepción que tenemos del sonido, y es útil porque refleja la percepción real del ruido (ALLPE, 2024).

Figura 1: Unidad Móvil de medición.



Fuente: elaboración propia.

El procedimiento del trabajo de campo es realizado en dos jornadas típicas de verano, una por cada escuela, durante la primera semana de marzo del año 2023. Las condiciones climáticas en ambos días fueron similares: cielo despejado, con una intensidad de luz solar de 90,000 lux en plano horizontal a nivel del suelo, temperaturas exteriores entre 35 °C y 38 °C y niveles de ruido exterior entre 49 dBA y 52 dBA, sin superar los 60 dBA en ambos casos de estudio.

Para cada aula, la UM equipada con sensores es ubicada en el centro del espacio, a una altura de 1,10 m. del nivel del piso y entre 0,5 m. y 1 m. de distancia de los estudiantes. La medición es registrada cada minuto. Los alumnos permanecen en su lugar, dentro de las posibilidades, para captar las condiciones ambientales percibidas.

Durante los primeros cinco minutos, los sensores entran en una fase de "aclimatación". En los cinco minutos siguientes, se registran las condiciones ambientales, anotando en una planilla detalles como los datos ambientales interiores, apertura de ventanas, presencia de corrientes de aire y uso de parosoles.

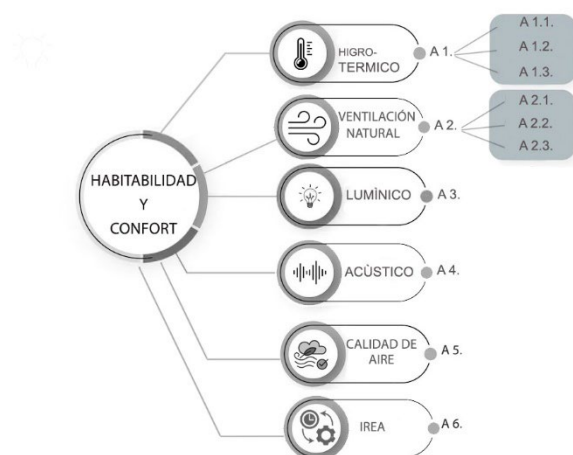
Simultáneamente, se distribuye una encuesta electrónica mediante códigos QR a estudiantes y profesores presentes en cada aula, y de ella, se obtiene información subjetiva de los participantes sobre los parámetros ambientales evaluados. Tanto el tiempo para completar el cuestionario, como para posicionar y maniobrar la UM en el aula es de aproximadamente diez minutos. Luego, se asigna cinco minutos para trasladar la UM a otra aula del edificio, permitiendo evaluar hasta cuatro espacios por hora.

Finalmente, los datos obtenidos de sensores y encuestas se procesan en hojas de cálculo Excel, para su correspondiente análisis y evaluación.

Revisión de criterios de MECSA

La herramienta MECSA está conformada por cinco categorías, en donde cada una se sub divide en créditos, las mismas son: Sitio Sustentable, Agua, Energía, Habitabilidad y Confort, y Comunidad. El presente trabajo aborda dos de los seis criterios que integran Habitabilidad y Confort, estos son: Confort Lumínico y Confort Acústico. El siguiente esquema permite entender cómo se compone la categoría y se observan los créditos alcanzados (figura 2).

Figura. 2: Esquema de la estructura de análisis de MECSA. Categoría Habitabilidad y Confort.



Fuente: elaboración propia

Confort lumínico. Breve revisión

La interacción entre la iluminación natural y artificial desempeña un papel importante en la creación de entornos interiores óptimos para diversas actividades. La falta de atención a este aspecto puede desencadenar una serie de molestias visuales, tales como resplandor, parpadeo y una percepción

deficiente del entorno visual, impactando negativamente en el desempeño y ocasionando fatiga ocular y cefaleas (Kwong, 2020).

Es importante destacar que la luz natural, además de favorecer el ritmo circadiano de los ocupantes, adquiere relevancia en su aprovechamiento, en especial en regiones caracterizadas por climas áridos y una abundancia de días soleados, como es el caso de la provincia de San Juan. En este contexto, la integración estratégica de la luz natural, no solo conlleva beneficios tangibles en términos de bienestar para los ocupantes, sino que también ofrece una oportunidad para impulsar la eficiencia energética, reduciendo así la dependencia de fuentes de iluminación artificial (Enoch, et al. 2020). Sin embargo, cuando no es posible alcanzar los niveles deseados de iluminación natural, es necesario complementar con luz artificial (Normativa IRAM AADL J 20-02 y J 20-03).

A nivel internacional, existen diferentes estándares de iluminancia recomendados, pero en entornos académicos se ha llegado a un consenso en valores que oscilan entre 300 y 500 lux para el plano de trabajo, con sugerencias de que niveles más altos pueden estimular la productividad, aunque con precaución debido al aumento del consumo energético (Heindri, Dewi, y Ismoyo, 2022; Oliveira Rodrigues, y Oliveira Scalise, 2022). En Argentina, las normas establecen valores recomendados, como los expuestos en la norma IRAM AADL J 20-04 para escuelas, que van desde 300 lux hasta 500 lux, con énfasis en la calidad de la iluminación (Ministerio de Educación, 1998).

Además de la cantidad de luz, la temperatura de color emerge como un factor crítico, en la configuración de entornos visuales óptimos, tanto para el confort perceptivo como para la eficacia del proceso de aprendizaje. La literatura científica ha puesto de manifiesto, la relevancia de este parámetro lumínico en la optimización de ambientes educativos, evidenciando que, una temperatura de color en torno a los 4000 K resulta especialmente propicia para las actividades escolares.

Investigaciones recientes han profundizado en esta temática, indicando las condiciones óptimas de iluminación para tareas que requieren atención sostenida. En este contexto, se ha observado que las condiciones lumínicas proporcionadas por sistemas LED, con temperaturas de color situadas entre los 3300 K y los 4300 K, acompañadas de un nivel de iluminancia de 300 lux, contribuyen significativamente al confort visual de los usuarios involucrados en dichas actividades (Yang y Jeon, 2020).

Desde el enfoque normativo en Argentina, la calidad de la iluminación en entornos escolares, es un aspecto fundamental que influye en el bienestar y el rendimiento tanto de estudiantes como de personal docente y administrativo. Con el objetivo de establecer estándares y criterios que aseguren

un ambiente óptimo para el aprendizaje, el Ministerio de Educación de la Nación, bajo la Dirección de Infraestructura (1998) ha desarrollado una serie de recomendaciones en la Normativa Básica de Arquitectura Escolar, en consonancia con las normas IRAM AADL J 20-02 e IRAM AADL J 20-03 de iluminación natural, e IRAM AADL J 20-05 e IRAM AADL J 20-15 de iluminación artificial.

En la tabla 1 se expone un resumen de las principales recomendaciones que se destacan.

Tabla 1: Recomendaciones para espacios escolares.

Recomendación	Detalle
Buena Distribución	Es importante asegurar una distribución uniforme de la luz en todo el espacio escolar, evitando áreas con iluminación insuficiente o excesiva.
Calidad de la Iluminación Natural	Se sugiere aprovechar al máximo la iluminación natural, considerando la ubicación, medidas, forma y orientación de las aberturas para permitir la entrada de luz diurna. Es recomendable orientaciones NO - N- NE.
Control de la Incidencia Solar	Las aberturas deben diseñarse de manera que eviten la incidencia directa de la luz solar, sin producir sombras o reflejos molestos.
Luz Artificial Complementaria	En áreas con iluminación natural insuficiente, se recomienda el uso de luz artificial complementaria, preferiblemente con una dirección similar a la luz diurna.
Distribución Adecuada de la Luz Artificial	Se debe evitar la generación de deslumbramientos o proyecciones de sombras mediante una distribución cuidadosa de la luz artificial.
Color de la Luz Artificial	Se sugiere que el color de la luz artificial se asemeje lo más posible al color de la luz diurna durante el horario de uso predominante.
Circuitos de Comando Independientes:	Es importante que los circuitos de control de la luz artificial sean independientes del sistema nocturno para cubrir los requerimientos específicos de iluminación.
Nivel de iluminancia	En planos de trabajo en Aulas: Niveles entre 300- 500 lux. En pizarrón en Aulas: Niveles entre 500-750 lux. En administración: 300-500 lux.

Fuente: Ministerio de Educación de la Nación, 1999.

A partir de lo expuesto, se concluye que la iluminación en las escuelas debe proporcionar un alto confort visual, garantizando un nivel adecuado de iluminación en función de las actividades visuales que se desarrollan en el interior, y controlando el riesgo de deslumbramiento producido por la incidencia de la radiación solar sobre el plano de trabajo, dado que ésta no solo impedirá la correcta visión, sino también producirá, en verano, sobrecalentamiento del interior de los espacios.

Confort acústico. Breve revisión

En lo relativo al confort acústico, éste se logra cuando los niveles de sonido se encuentran dentro de límites tolerables, exentos de cualquier forma de incomodidad o interrupción, con el propósito primordial de preservar la integridad auditiva de los individuos. En entornos educativos, el confort acústico es crucial para crear condiciones óptimas de aprendizaje.

La calidad del ambiente sonoro en las aulas, incide directamente en la efectividad de las estrategias pedagógicas (Lauria, Secchi, Vessella, 2020). Condiciones acústicas deficientes, como altos niveles de ruido, pueden perjudicar tanto la salud como el desempeño académico de los estudiantes (Montiel, 2019).

Existen dos categorías de sonidos según su origen: internos, como conversaciones, equipos electrónicos y movimientos, y externos, como el tráfico vehicular u obras en construcción. Estudios indican que, aun siendo de baja intensidad, sonidos de teléfonos, impresoras y conversaciones son los menos deseados en entornos laborales (Pérez Vicharra, 2023).

Para evaluar el confort acústico en escuelas, se emplean diversas técnicas, como mediciones in situ con sonómetros, encuestas para recopilar percepciones y evaluaciones del aislamiento acústico (Munawaroh y Christina, 2021; Alexandra y Catalina, 2021). Además, informes de profesores pueden aportar datos subjetivos sobre la incomodidad sonora y el esfuerzo vocal, complementando mediciones objetivas (Lauria, Secchi, Vessella, 2020).

En Argentina, las leyes laborales, como la Ley Nº 19587/72 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y la Ley Nº 24557/95 de Riesgos del Trabajo, junto con normativas específicas, establecen límites de exposición al ruido para proteger la salud del trabajador. Es fundamental destacar el concepto de Nivel Sonoro Continuo Equivalente (NSCE), introducido por el Decreto Nº 351/79 de la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo, el cual establece límites para exposición diaria. Dicho decreto impone un límite de precaución de 85 dBA, alineado con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

No obstante, los criterios establecidos en las regulaciones laborales en lo que respecta al ámbito acústico, no son necesariamente aplicables a entornos educativos, donde las actividades requieren un alto grado de concentración y comunicación interpersonal. Como señalan Paterlini y Leonardo (2018), en las aulas de las escuelas argentinas, la intervención profesional y la atención normativa en relación con el confort acústico, son limitadas. Se reconoce, por lo tanto, que la calidad del ambiente sonoro en estos espacios es deficiente, e incluso puede ser inexistente en algunos casos.

Con el propósito de garantizar un entorno propicio para el proceso de enseñanza-aprendizaje, el Ministerio de Educación de la Nación, a través de su Dirección de Infraestructura (1998), establece una serie de recomendaciones en el ámbito de la Arquitectura Escolar. Entre estos, se destacan los niveles (dBA) considerados apropiados, para diferentes áreas dentro de los edificios escolares. En la siguiente tabla se exponen las recomendaciones para cada área en establecimientos educativos (tabla 2).

Tabla 2: Niveles sonoros recomendados por área en escuela.

Áreas	Niveles sonoros (dBA)
Aulas	35-45 dBA
Bibliotecas	35-45 dBA
Áreas de Laboratorios	40-50 dBA
Talleres	40-55 dBA
Áreas de recreo y circulaciones	40-50 dBA
Administración	30-40 dBA

Fuente: Ministerio de Educación de la Nación, 1998.

Es importante señalar, que mantener estos valores mínimos (tabla 2) puede ser un desafío en entornos escolares, dado que una conversación típica alcanza aproximadamente los 65 dBA, mientras que un grito puede superar los 80 dBA.

Investigaciones han evidenciado que los niveles de ruido en escuelas suelen exceder las recomendaciones establecidas (Mamat et al., 2022; Ochiabuto et al., 2021).

En relación al ruido externo, el cual representa un elemento determinante para la evaluación de la calidad acústica de un ambiente, la OMS sugiere que los niveles óptimos oscilen alrededor de los 65 dBA, con el fin de asegurar la salud y el bienestar de los individuos.

Otro aspecto fundamental que se tiene en cuenta al abordar el tema del confort acústico, es el tiempo de reverberación (TR), que se define como el lapso que transcurre para que el nivel del sonido disminuya en 60 dBA después de una interrupción súbita. De acuerdo con la Norma ISO 3382 (2008), en aulas con un volumen inferior a 200 m³, se recomienda un tiempo de reverberación de entre 0.4 y 0.6 segundos. Por otro lado, la Norma IRAM 4109-2, que establece valores óptimos para el tiempo de reverberación en distintos tipos de espacios, sugiere un rango de 0.6 a 0.8 segundos para las salas de clases.

Considerando la normativa internacional ANSI 12.60 (2002), la misma aborda diversos aspectos relacionados con el tiempo de reverberación y el nivel de ruido de fondo, así como su influencia en la inteligibilidad del habla. De acuerdo con este estándar, se establece que el tiempo máximo de reverberación en un salón de clases vacío y amueblado, con un volumen inferior a 283 m³, debe ser de 0.6 segundos. Para salones de clases cuyo volumen se encuentre en el rango de 283 m³ a 566 m³, el tiempo máximo de reverberación permitido es de 0.7 segundos. Además, según estas recomendaciones, el nivel máximo de ruido de fondo permitido en el mismo salón de clases es de 35 decibeles (dBA). Estos valores están en concordancia con los estándares previamente mencionados, lo que refuerza su validez y su relevancia en la regulación del confort acústico en entornos educativos. En base a lo dicho se resume que, para alcanzar condiciones acústicas óptimas en espacios áulicos se debe evaluar, por un lado, los niveles de ruido, para que éstos no superen los límites tolerables y que permitan el correcto desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje. Por otro lado, y en complemento, es necesario considerar el TR, para lograr espacios confortables acústicamente.

Indicadores propuestos

En esta instancia del trabajo, se proponen indicadores específicos destinados a calificar tanto la iluminación como la acústica en entornos educativos, como parte de MECSA. Dichos indicadores, ofrecen un sustento metodológico para el examen detallado de estas variables ambientales, y además constituyen una herramienta para comprender la complejidad del confort y habitabilidad, en espacios escolares.

En este sentido, los criterios de evaluación adoptados, deben abarcar una gama diversa de elementos, desde la intensidad lumínica y la uniformidad de la iluminación hasta la distribución del sonido, la reverberación y la atenuación del ruido externo. Asimismo, es fundamental considerar las normativas pertinentes, como las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, y las regulaciones nacionales sobre calidad ambiental en entornos educativos.

Al integrar estos indicadores en el análisis posterior, se espera obtener una visión integral y holística de las condiciones ambientales en escuelas, lo que permitirá identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias efectivas, para optimizar tanto la iluminación como el confort acústico en estos espacios de aprendizaje clave.

Siguiendo la línea de investigación iniciada por Re y Bianchi (Op. Cit), este trabajo presenta un sistema de puntuación que asigna un valor uniforme a cada crédito, lo que facilita la ponderación de

diferentes categorías, en función de la cantidad de créditos que abarquen. Para evaluar criterios lumínicos y acústicos, se proponen una serie de indicadores, que representan un porcentaje del valor total de cada criterio respectivo. Estos porcentajes son complementarios entre sí; es decir, los indicadores deben sumarse para alcanzar el 100%. En líneas generales, los indicadores formulados aquí, a partir de la revisión bibliográfica, se seleccionan por su pertinencia y su facilidad de aplicación, al ser de rápida observación, medibles y cuantificables. Cada indicador propuesto, incluye una explicación detallada sobre cómo asignar su valor, así como su fuente de información o la base en la que se fundamenta, como señala Armijo (2010). Este enfoque de evaluación permite su aplicación, para verificar el cumplimiento de objetivos establecidos, diagnosticar factores de influencia, comparar edificios alternativos, y monitorear la evolución de los impactos a lo largo del tiempo.

La Tabla 3 y Tabla 4, exponen la propuesta para la evaluación de la calidad lumínica y acústica en entornos escolares.

Tabla 3: Indicadores propuestos para la evaluación de calidad lumínica en escuela, conforme a la estructura de MECSA.

Indicador lumínico	Descripción	Fuente	Incidencia
Nivel de iluminancia (NI)	Niveles de iluminación óptimos, tanto artificial como natural deben oscilar entre 300 lux (mínimo) y 500 lux (recomendable) para aulas. Mientras que en oficina estos valores se establecen entre 300 a 750 lux.	Ministerio de Educación de la Nación (1998).	25%
Temperatura de color (TC)	Uso de sistemas de iluminación que imiten la luz natural diurna, lo cual se logra mediante la selección de una temperatura de color que oscile entre los 4000 K y los 6500 K. Estos valores de temperatura proporciona una calidad lumínica que se asemeja al espectro diurno, favoreciendo así un ambiente visualmente confortable y propicio para actividades que requieren una buena percepción del entorno, como el aprendizaje y la concentración	En base a: Yang, & Jeon (2020).	25%
Control solar (CS)	Disponer de elementos de control solar que posibiliten al usuario el manejo del ingreso de luz, evitando la luz solar directa sobre los planos de lectura. Además contar con iluminación distribuida de forma homogénea eliminando excesos de luminosidad, brillos y deslumbramiento.	Ministerio de Educación de la Nación (1998).	25%
Requerimientos de asoleamiento	Disponer mínimo de 2 horas de sol entre las 9 y 16 horas en el día más desfavorable del año escolar, además, respecto a las orientaciones, en el caso de regiones muy cálida y cálida, como es el caso de la provincia de San Juan, es recomendable orientaciones NO - N- NE.	Ministerio de Educación de la Nación (1998).	25%
Puntación total Criterio Lumínico			100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Indicadores propuestos para la evaluación de calidad acústica en escuela, conforme a la estructura de MECSA.

Indicador Acústico	Descripción	Fuente	Incidencia
Nivel de ruido interior (NRI).	El nivel medio de ruido interior debe oscilar entre los 35 a 45 decibelios ponderados A (dB[A]). Es esencial garantizar este umbral para preservar un entorno propicio para la concentración y el aprendizaje, así como para salvaguardar la salud auditiva y promover un ambiente educativo adecuado y saludable.	En base a: Ministerio de Educación de la Nación (1998).	25%
Nivel de ruido exterior (NRE).	Si las aulas se encuentran adyacentes a espacios públicos de tránsito vehicular, o espacios de alta exposición sonora, es obligatorio tomar mediciones acústicas mediante un sonómetro. Los valores medidos no deber superar los 65 decibelios ponderados A (dBA). Este parámetro es importante para asegurar la calidad del entorno sonoro en áreas contiguas a edificaciones educativas u otros espacios sensibles. Mantener este límite contribuye a preservar un ambiente tranquilo y propicio para actividades educativas.	En base a: NORMA ANSI 12.60 (2002)	25%
Tiempo de reverberación (TR).	El tiempo máximo de reverberación en un salón de clases vacío y amueblado, con un volumen inferior a 283 m ³ , debe ser de 0.6 segundos. Para salones de clases cuyo volumen se encuentre en el rango de 283 m ³ a 566 m ³ , el tiempo máximo de reverberación permitido es de 0.7 segundos.	NORMA ANSI 12.60 (2002)	25%
Observacional	Criterio cualitativo observacional. Ubicación de sectores críticos con elevado nivel sonoro que influyan en sectores específicos. Salas de música cercanas a espacios áulicos o biblioteca, cercanías a sum.(Observacional)	Elaboración propia en base a trabajo de campo.	25%
Puntación total Criterio Acústico			100%

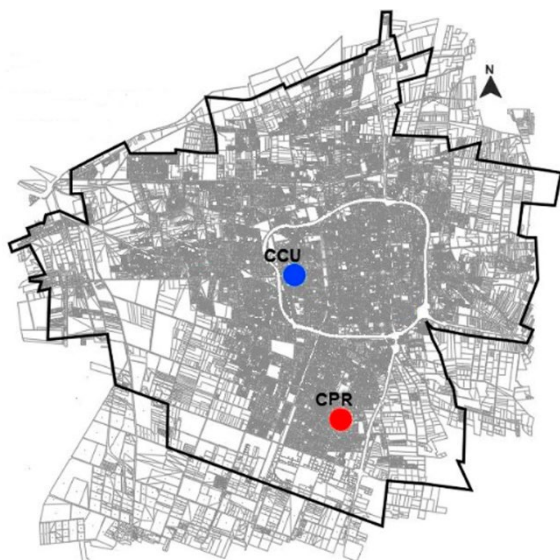
Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de los casos de estudio

En el presente apartado se expone la evaluación acústica y lumínica, en dos casos de estudio mediante la aplicación de los indicadores propuestos.

Los casos seleccionados corresponden a dos escuelas ubicadas en el AMSJ. En la Figura 3 se observa el recorte del AMSJ en el plano urbano. Allí mismo, la tabla del lado derecho, resume algunas diferencias y similitudes de ambos casos.

Figura 3: AMSJ y casos de estudio.



Fuente:Elaboracion propia.

Tabla 5: Diferencia y similitudes de los Casos.

Caracterizacion	CPR	CCU
Superficie total [m2]	3.151	1.390
Sup. Sector aulas [m2]	1.035	548
Sup. Promedio por aulas [m2]	50	30
Sup. De ventanas por aulas [m2]	7,2	3,6
Relación Sup. Ventana/Sup. Habitable	0,14	0,12
Orientacion luz natural	Norte (25%) Sur (75%)	Norte (50%) Sur(50%)
Control solar	No	No
Ancho de muros exterior [m2]	0,33	0,27
Ancho de muros interior [m2]	0,2	0,27
Material de muro	ladrillo	ladrillo
Ventilacion cruzada	Si	Si
Orientación	Norte-Sur	Norte-Sur
Visuales al exterior	Si (100%)	Si (50%)
Adyacencia alto transito	No	Si

Fuente: Elaboración propia.

El primer edificio corresponde al Colegio Central Universitario (CCU), perteneciente a la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). Fue construido en el periodo post terremoto del año 1944 como parte del Plan Quinquenal (Ré y Michaux, 2023). Este recinto arquitectónico, destaca por su diseño lineal y la adopción del estilo californiano. Su diseño tipológico es conocido como "Lineal en Peine", fue una solución recurrente en la arquitectura educativa nacional de la época. Su estructura se conforma con mampostería portante de ladrillo macizo, de 30 cm de espesor. La superficie útil alcanza los 1.390 m², con aulas que promedian los 30 m², complementados con ventanales que abarcan un espacio de 3,60 m², optimizando la entrada de luz natural.

El emplazamiento del 50% de las aulas sobre la transitada Avenida Ignacio de la Roza, arteria principal de San Juan, se presenta como una situación compleja debido al alto flujo vehicular de forma constante. En contraste, el otro 50% de las aulas se orienta hacia el Norte, distribuidas

en dos niveles, maximizando la exposición al sol. Este último sector se encuentra adyacente al patio exterior del establecimiento, vinculado a una circulación al aire libre.

El segundo caso de estudio, pertenece Colegio Provincial Número 1 de Rawson. Este edificio, conforma el Programa Nacional 700 Escuelas, llevado adelante en el periodo 2004 a 2008 (Ré, 2017). Su estructura lineal alberga las áreas educativas, diseñadas con ventilación cruzada norte-sur. Las galerías cubiertas conectan las distintas áreas del recinto con el patio cívico, dotando al colegio de una imagen arquitectónica contemporánea. Posee una superficie cubierta de 3.150 m² y una superficie correspondiente al sector de aulas de 1035 m². Cada aula posee en promedio 50 m² y 7,20 m² de superficie en ventanas. La materialización corresponde a mampostería de ladrillo macizo, con un espesor de 30 cm hacia el exterior y 20 cm en las divisiones internas. Los techos de las aulas son de losa, con acabado exterior de baldosa cerámica, y en el interior cielorraso a la cal.

La Figura 4 muestra los planos de ambos colegios, con identificación de zonas, diferenciando áreas administrativas y áreas de aulas, y las adyacencias a las principales vías de circulación vehicular.

Figura 4: Planos de los casos de estudio. Zonificación.



Colegio Provincial N.º 1 de Rawson (CPR)

Colegio Central Universitario (CUU)

Fuente: Elaboración propia

A su vez, las Tablas 6 y 7 presentan una detallada evaluación de la calidad acústica y lumínica en CCU y en CPR respectivamente. Esta evaluación se fundamenta en los indicadores propuestos, tal como se describe en el apartado “Indicadores Propuestos” (Tablas 3 y 4).

Tabla 6: Evaluación de calidad lumínica y acústica de CCU.

Colegio Central Universitario-CCU								
AREAS	Calidad Lumínica				Calidad Acústica			
	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
	NI 300 A 500 lux	TC (Luz diurna)	CS	Requerimientos de asoleamiento	NRI 35 a 45 dBA	NRE ≤ 65 dBA	TR (0.6 - 0.8 s.)	Observacional
Biblioteca	205	Diurna	aplica	Aplica	58,7	≤ 65	0.8	Aplica
Oficinas-Mañana	219	Diurna	aplica	No aplica	61,3	≤ 65	0.8	Aplica
Oficinas-Tarde	261	Diurna	aplica					
Aulas-Mañana	280	Diurna	aplica	No aplica	69,5	>65	0.8	Aplica
Aulas-Tarde	405	Diurna	aplica					
Porcentajes parcial (%)	0%	25%	25%	0%	0%	0%	25%	25%
PORCENTAJE TOTAL (%)	50%				50%			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Evaluación de calidad lumínica y acústica de CPR.

Colegio Provincial Nº 1 de Rawson - CPR								
AREAS	Calidad Lumínica				Calidad Acústica			
	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
	NI 300 A 500 lux	TC (Luz diurna)	CS	Requerimientos de asoleamiento	NRI 35 a 45 dBA	NRE ≤ 65 dBA	TR (0.6 - 0.8 s.)	Observacional
Oficinas-Mañana	226	Diurna	Aplica	Aplica	61,4	≤ 65	0,8	Aplica
Oficinas-Tarde	277	Diurna	No aplica					
Aulas-Mañana	270	Diurna	aplica	Aplica	69	≤ 65	0,8	Aplica
Aulas-Tarde	275	Diurna	aplica					
Porcentajes parcial (%)	0%	25%	25%	25%	0%	25%	25%	25%
PORCENTAJE TOTAL (%)	75%				75%			

Fuente: Elaboración propia.

En la columna titulada "Áreas", se distinguen los distintos sectores de los establecimientos, incluyendo biblioteca, oficinas y aulas. Además, cada uno de estos sectores se divide según la franja horaria en la que se llevó a cabo la evaluación, ya sea en turno matutino o turno tarde. Esto se realiza considerando las posibles variaciones en la iluminación debido al movimiento solar, así como las fluctuaciones en el ruido en función del flujo vehicular en diferentes momentos del día.

Las columnas siguientes corresponden a cada indicador propuesto, donde se detallan los valores obtenidos a través de mediciones con sensores, respaldado por un estudio observacional de cada

caso. Esta metodología proporciona una visión integral de la calidad ambiental en los espacios estudiados, permitiendo identificar áreas de mejora y optimización en términos de acústica y luminosidad.

En términos generales, se observan resultados superiores en el CPR, alcanzando un 75% en ambos criterios analizados: luminosidad y acústica. Por otro lado, en el CCU, los resultados obtenidos son del 50% en ambas categorías. La disparidad entre ambos radica en la identificación, a través del estudio observacional, de la proximidad entre la sala de música y el área de aulas en CCU. Aunque esta cercanía no se reflejó en la medición con el sonómetro, se debe a que la sala de música no estaba en uso durante la evaluación. No obstante, se recabó información de los docentes que expresaron su incomodidad en ciertos horarios del día.

En la comparación de ambos casos, también se destaca una diferencia en la evaluación del indicador de nivel de ruido exterior (NRE), debido a que el 50% de las aulas del CCU se encuentran contiguas a la arteria principal de conexión este-oeste de la ciudad de San Juan. Esta ubicación conlleva valores de ruido medidos superiores a los 65 decibelios ponderados A (dBA).

En cuanto al resto de los indicadores en la comparación de ambos casos de estudio, son similares. Es importante resaltar que el Índice de Iluminación (NI) para ambos casos, se encuentra por debajo de lo normalizado (300 a 500 lux), lo que resulta en una calificación del 0% para ambos establecimientos.

Conclusión

Este estudio alcanza el objetivo propuesto, de evaluar la calidad acústica y lumínica en espacios escolares de clima templado cálido, utilizando los procedimientos e indicadores de dos criterios de MECSA para la evaluación del Colegio Provincial N.º 1 de Rawson (CPR) y del Colegio Central Universitario (CCU) del Área Metropolitana de San Juan.

La aplicación de los procedimientos a los casos de estudio demuestra que en ambas instituciones se alcanzan calidades de nivel “medio”. Los resultados evidencian, que el CPR presenta una calidad ambiental superior en términos de luminosidad y acústica, con un puntaje del 75% en los dos criterios, mientras que el CCU alcanza un 50%. La diferencia significativa entre los Casos se relaciona en parte con factores como la proximidad de aulas a la sala de música y a una vía de tráfico en el CCU, lo cual eleva los niveles de ruido en sus espacios interiores. En referencia al índice de iluminación, en los

dos establecimientos evaluados se encuentra por debajo de los estándares “recomendados”, sugiriendo la necesidad de mejoras para optimizar sus condiciones.

El uso de indicadores precisos y de fácil aplicación, con criterios detallados y bases bibliográficas sólidas, permite un análisis rápido y efectivo de la calidad acústica y lumínica en estos entornos. La revisión conceptual y la reestructuración de los indicadores llevadas a cabo en este trabajo, representa un avance respecto a la estructura previa presentada en Re y Bianchi (2020).

Como cierre del artículo, se reconoce en MECSA una herramienta eficaz, que aporta un sistema de puntuación claro, y que permite ponderar indicadores específicos de la tipología escolar, en función de los créditos que integran las cinco categorías. Dicha estructura metodológica, facilita el análisis integrado y detallado de la calidad ambiental, de los edificios escolares evaluados.

En resumen, la aplicación de los criterios ha permitido identificar áreas de fortaleza y debilidad en los casos de estudio, mostrando su cualidad adaptativa a diferentes condiciones climáticas y arquitectónicas. Las conclusiones obtenidas no solo destacan la importancia de considerar factores externos, como el nivel de ruido e iluminación en el diseño de edificaciones educativas, sino que también sugieren el potencial de este método para otras aplicaciones.

Futuras investigaciones podrán explorar la adaptación de MECSA a nuevos casos de estudio, y considerar la incorporación de entrevistas con docentes y estudiantes. Este enfoque enriquecería el análisis metodológico, al integrar las percepciones de los usuarios sobre la calidad ambiental. Además, el presente estudio constituye una referencia metodológica para investigaciones futuras sobre calidad ambiental en entornos escolares, ofreciendo un marco práctico y replicable.

Contribuciones y agradecimientos

Se agradece, a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan, al Instituto de doble dependencia IRPHa-UNSJ-CONICET y al Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas y de Creación Artística (CICITCA) por la contribución en el financiamiento.

Referencias

- Alamino-Naranjo, Y., y Kuchen, E. (2021). Indicadores para evaluar el rendimiento de usuarios de oficina en clima templado cálido. *Informes De La Construcción*, 73(564), e420. <https://doi.org/10.3989/ic.83476>
- Alexandra, E. N. E., y Catalina, T. (2021). Improving speech intelligibility in a high school classroom using sound absorbing panels. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 18(1), 40-45.
- ALLPE. (2024). Diferencia entre decibelio dB y decibelio ponderado dBA. <https://www.allpe.com/acustica/ingenieria-acustica/mediciones-acusticas>
- Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. (2002). American National Standards Institute.
- Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. (Norma núm. S12.60). (2002). American National Standards.
- Armijo, M. (2010). Lineamientos metodológicos para la construcción de indicadores de desempeño. Curso Internacional “Planificación estratégica y políticas públicas”. AECID/ILPES/CEPAL.
- Chen, Y., Lau, B., Blyth, A., Schiano-Phan, R. y Yi-Kai, J. (10-12 de diciembre de 2018). Influence on Learning Efficiency from natural light in Educational Environment. Conferencia: *Passive Low Energy Architecture*, Hong Kong, China. <https://westminsterresearch.westminster.ac.uk/item/q9839/influence-on-learning-efficiency-from-natural-light-in-educational-environment>
- Cotana, F., Asdrubali, F., Arcangeli, G., Luzzi, S., Ricci, G., Busa, L. y Cerini, L. (2023). Extra-Auditory Effects from Noise Exposure in Schools, Results of Nine Italian Case Studies. *Acoustics* 5(1), 216-241. <https://doi.org/10.3390/acoustics5010013>
- Enoch, J., Jones, L., Taylor, D. J., Bronze, C., Kirwan, J. F., Jones, P. R. y Crabb, D. P. (2020). How do different lighting conditions affect the vision and quality of life of people with glaucoma? A systematic review. *Eye*, 34(1), 138-154. <https://doi.org/10.1038/s41433-019-0679-5>
- Heindri, N., Dewi, O. C. e Ismoyo, A. D. (18 de noviembre de 2021). Lighting system evaluations of working space in educational building, Universitas Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012029>
- Hoang, P. N., Solina, A. M., Samara, M., Maglente, S. S., Shannawi, S., Luna, A. R. F. y Olvida, C. F. (2022). The influence of lighting, noise, and temperature on the academic performance of students amid covid-19

- pandemic. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(9), 415-440.
<https://doi.org/10.26803/ijlter.21.9.23>
- Hussan, S., Hassan, N. A., Mansy, M. A. H. y Elshamly, M. A. M. (2022). Effect of noise on school environment and its relationship with each of audio and visual perception and attitudes of students (case study of some primary Schools in Giza Governorate). *Alexandria Science Exchange Journal*, 43(3), 907-935.
<https://doi.org/10.21608/aseiaiqsae.2022.252599>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1994). Ruidos molestos al vecindario. (Norma núm. 4062).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2011). Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2 – Tiempo de reverberación de recintos comunes. (Norma núm. 4109).
- International Organization for Standardization. (2008). Acoustics—Measurements of room acoustics parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. (Norma núm. 3382).
- Karlsson, T., Kjellander, J., Machado, A., Strandberg, O., Götlind, P. y Karlsson, R. (21-23 de septiembre de 2022). The school lighting innovation dilemma. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Copenhague, Dinamarca. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1099/1/012031>
- Kudryashova, O. B., Muravlev, E. V., Antonnikova, A. A. y Titov, S. S. (2021). Propagation of viral bioaerosols indoors. *PloS One*, 16(1), e0244983. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244983>
- Kwong, Q. J. (2020). Light level, visual comfort and lighting energy savings potential in a green-certified high-rise building. *Journal of Building Engineering*, 29, 101198. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101198>
- Lauría, A., Secchi, S., Vessella, L. (2020). 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*, 12(22), 9733.
<https://doi.org/10.3390/su12229733>
- Ley 19587 de 1972. Higiene y seguridad en el trabajo. 21 de abril de 1972. D.O. 1972-04-28.
- Ley 24.557 de 1995. Riesgos del Trabajo. 3 de octubre 1995. D.O. 1995-10-04.
- Magero, C. V., Nyamari, J. y Mutisya, R. (2023). Visual Comfort and Discomfort in Public Boarding Secondary Schools in Nairobi City County, Kenya. *East African Journal of Health and Science*, 6(1), 62-84.
<https://doi.org/10.37284/eajhs.6.1.1123>

- Mamat, N. I., Amil, N., Mohd Hanif, M. H., Zuknik, M. H., Norashiddin, F. A. y Jaafar, M. H. (2022). Noise Exposure Assessment at a Secondary School in a City of Pulau Pinang, Malaysia. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(11), 2547-2561. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1976735>
- Mansouri, K., Sriti, L. y Guedouh, M. S. (2022). Post-Occupancy Evaluation of Thermal Comfort Sensation of Pupils in School Establishments under Hot Arid Climate Conditions. *Technium Social Science Journal*, 34,180.
- Ministerio de Educación. (1998). Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar. Dirección de Infraestructura. Gobierno de la Nación Argentina.
- Montiel, I., Mayoral, A. M., Navarro Pedreño, J. y Maiques, S. (2019). Acoustic comfort in learning spaces: Moving towards sustainable development goals. *Sustainability*, 11(13), 3573. <https://doi.org/10.3390/su11133573>
- Munawaroh, A. S. y Christina, C. (2021). A Field Measurement of Noise Comfort Classroom in Xaverius Pringsewu Senior High School. MARKA, *Media Arsitektur dan Kota, Jurnal Ilmiah Penelitian*, 5(1), 27-38. <https://doi.org/10.33510/marka.2021.5.1.27-38>
- Norazman, N., Ani, A. I. C., Jaâ, N. H. y Khoiry, M. A. (2018). Indoor Lighting in Classroom Environment Influences on Students Learning Performance. *The Journal of Social Sciences Research*, 6, 986-990. <https://doi.org/10.32861/JSSR.SPI6.986.990>
- Ochiabuto, O. M. T. B., Abonyi, I. C., Ofili, R. N., Obiagwu, O. S., Ede, A. O., Okeke, M. y Eze, P. M. (2021). Assessment of Noise Levels in Primary and Secondary Schools in Nnewi, Anambra State. *European Journal of Environment and Public Health*, 5(1). <https://doi.org/10.29333/EJEPH/8425>
- Oliveira Rodrigues, M. y de Oliveira Scalise, W. (2022). The importance of lighting in architectural work environment projects. *Journal of Interdisciplinary Debates*, 3(01).
- Paterlini, L. y Garzón, B. S. (2018). *Confort acústico en aulas de escuela en Tucumán, Argentina: Análisis, evaluación y concienciación*. XXVIII Encontro da Sobrac, Porto Alegre. <https://doi.org/10.17648/sobrac-87078>
- Pérez Vicharra, C. I. (2023). Niveles de ruido ambiental en el horario laboral de la municipalidad distrital de Ate de setiembre a diciembre 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2374>
- Ré, M. G. (6-8 de septiembre de 2017). *Arquitectura escolar. Análisis del Programa Nacional 700 Escuelas en la Provincia de San Juan*. Actas del XXI Congreso ARQUISUR. Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina.
- Ré, M. G. y Bianchi, M. F. (2020). Metodología de evaluación y calificación de la sustentabilidad ambiental y la eficiencia energética en edificios escolares existentes. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 45, 39-49.

- Ré, M. G. y Michaux, M. C. (2023). Arquitectura escolar del Plan Quinquenal en la Provincia de San Juan. *PENSUM*, 9(11), 111-125. <http://dx.doi.org/10.59047/2469.0724>
- Schwela, D. H. (2000). The World Health Organization guidelines for environmental noise. *Noise News International*, 8(1), 9-22. <https://doi.org/10.3397/1.3703044>
- Xu, J., Liu, M., Li, L. y Xia, Z. (2024). Effects of environmental lighting on students' sleep, alertness and mood: A field study in a Chinese boarding school. *Lighting Research & Technology*, 56(2), 185-206. <https://doi.org/10.1177/14771535231165263>
- Yang, W. y Jeon, J. Y. (2020). Effects of correlated colour temperature of LED light on visual sensation, perception, and cognitive performance in a classroom lighting environment. *Sustainability*, 12(10), 4051. <https://doi.org/10.3390/su12104051>