

Condiciones ambientales en las aulas inteligentes: Conceptualización y principales necesidades en investigación.

Jordi Mogas Recalde. Universitat Rovira i Virgili (España)

Marián Márquez Ruiz de Gopegui. Universitat Rovira i Virgili (España)

Ramón Félix Palau Martín. Universitat Rovira i Virgili (España)

1. Introducción.

Los espacios físicos de aprendizaje reciben cada vez más atención ya que se consideran agentes condicionantes de los procesos que se llevan a cabo en su interior. Hasta hace pocos años, las aulas de cualquier centro educativo eran salas con sillas y mesas dispuestas en filas orientadas hacia una pizarra desde donde el maestro o profesor impartía las clases magistrales. Si bien en la actualidad nuevas metodologías de aprendizaje y nuevas orientaciones pedagógicas se van incorporando en la práctica docente, por lo general las aulas todavía hacen frente a tales innovaciones educativas con esa disposición física de los elementos antigua y rígida, heredada de una tradición pasada. Sin embargo, y aquí surge un problema, se están haciendo propuestas de modernización que pretenden convertir el aula en un espacio más flexible (e.g. JISC, 2006; Lehtniemi, 2016; Bosch, 2018), pero sin considerar todas las posibilidades de adaptación que cabría esperar en el siglo XXI para aproximarse a lo que conocemos como aulas inteligentes o smart classrooms.

Desde un punto de vista conceptual y entendiendo su máximo potencial, las aulas inteligentes son aquellas que dan respuesta a tres dimensiones de características: la de procesos o pedagógica, la tecnológica o digital, y la ambiental (Palau y Mogas, 2019; Bautista, 2019). La dimensión de procesos es fundamental, ya que no podemos mejorar la educación sin mejorar la forma como enseñamos y aprendemos; todas las características de un aula inteligente sean del tipo que sean, deben atender la estrategia pedagógica (López, 2019; Mogas *et al.*, 2020). La dimensión tecnológica es instrumental porque proporciona recursos (recursos materiales, como sensores o dispositivos digitales; o bien recursos virtuales, como EVEAs o sistemas de inteligencia artificial). La dimensión ambiental, por su parte, se ocupa tanto de la arquitectura y diseño del espacio de aprendizaje como de los factores ambientales que condicionan la atmósfera del aula en todas sus variables (calidad del aire, iluminación y acústica).

En este trabajo se presenta un estado de la cuestión sobre el control de las condiciones ambientales en el aula desde una perspectiva comprensiva y crítica. Se trata de un estudio de corte cualitativo presentado en dos apartados principales, primero sentando la fundamentación con una revisión documental, y a continuación ofreciendo aportaciones contrastadas entre los propios autores para remarcar líneas de investigación todavía poco exploradas pero necesarias para el desarrollo de aulas inteligentes. El objetivo principal es identificar los elementos del entorno ambiental que influyen en los procesos de enseñanza-aprendizaje y ofrecer indicaciones sobre cómo se podrían trabajar en el diseño de aulas inteligentes a partir de la investigación. Finalmente se extraen unas conclusiones, remarcando la carencia de iniciativas que contemplen las aulas inteligentes de forma integral, en todas sus dimensiones.

2. Condiciones ambientales en el aula

Las aulas inteligentes deben ofrecer sistemas de control y regulación sobre la luz, el sonido, la temperatura, la calidad del aire y otras condiciones ambientales derivadas o relacionadas. Hay evidencias que sugieren que controlar estos factores en las aulas puede proporcionar a los alumnos un ambiente

más cómodo (Liu, Huang y Wosinski, 2017), que mejore su rendimiento (Cech, 2016) y que favorezca su progreso en el aprendizaje (Barrett *et al.*, 2017).

2.1. Iluminación

Los principales aspectos a considerar en relación a la iluminación del aula con efectos sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje son la fuente luminosa, la intensidad de la luz y la temperatura del color correlacionada.

Fuente luminosa: La procedencia de la luz puede ser natural y/o artificial. Por lo general, se puede acordar que una combinación de ambas fuentes sería beneficiosa. Es preferible aprovechar la luz natural sin una incidencia directa y controlando cómo se filtra (ventanas), pero deben regularse los valores de intensidad y temperatura del color mediante la luz artificial para garantizar una iluminación óptima. De hecho, la normativa UNE-EN 12464-1:2012 (2003) indica que “en interiores con ventanas laterales, la luz natural disponible disminuye rápidamente con la distancia a la ventana” y se hace necesario usar alumbrado suplementario con el fin de mantener la iluminancia requerida, así como para equilibrar la distribución de luminancias en todos los espacios y rincones del aula. Por lo tanto, la luz artificial se considera fundamental para un entorno de aprendizaje efectivo y obtener el máximo potencial de los alumnos (Mott *et al.*, 2014). En estudios de Barrett y compañía, se prueba preferible la existencia de altos valores de iluminación natural y artificial, aunque se puntualiza que la incidencia directa de luz natural puede provocar problemas de reflejos (Barrett *et al.*, 2013; 2015; 2017). Desde una aproximación biológica, además, se recomienda que la iluminación artificial siga el ciclo circadiano de luz natural, especialmente en lo referente a la temperatura del color (Lin *et al.*, 2019).

Intensidad de la luz: La intensidad de la luz se considera óptima para ambientes de trabajo en valores comprendidos entre los 300 y los 500 lux. La normativa europea (CE 2002) dicta que la intensidad mínima en centros educativos debe ser de 300 lux (García, 2017), y según la norma ISO-8995 se recomienda que la luminosidad mínima en aulas de educación superior sea de 500 lux (Lara y Sangucho, 2017). Es frecuente encontrar aulas que presentan valores que oscilan en el rango de 50 y 200 lux (Martinez-Nicolas *et al.*, 2011), lo que resulta insuficiente y puede provocar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza o estrés (LedBox, 2020), y como consecuencia distracciones y peor rendimiento. Asimismo, intensidades muy elevadas, de un rango superior a los 1.000 lux como pueden encontrarse en quirófanos y espacios de trabajos con requerimientos visuales especiales (LedBox, 2020), sería excesivo y también causaría efectos negativos a los estudiantes en un aula, especialmente si la exposición es prolongada.

Temperatura del Color Correlacionada (más conocida en inglés como *Correlated Color Temperature*, CCT): Considerando los efectos psicológicos de la CCT, la sociedad ha tendido a ambientar, por ejemplo, salones de té con butacas y lámparas de luz cálida para relajar, en contraposición a bibliotecas y salas de espera en hospitales con sillas rígidas y luz fría e intensa. En el caso de las aulas, una iluminación con temperatura del color baja, de 2.900K o menos, cálida, con tonalidad rojizo-amarillenta, normalmente no se considera apropiada. Las aulas escolares acostumbran a presentar unos niveles de CCT de entre 3.000K y 3.700K, que siendo aún relativamente neutra tiende a fría. Eso sí, existen estudios indicando que una iluminación con temperatura del color más alta, de 5.000K o más, fría, con tonalidad blanco-azul, sería beneficiosa para los alumnos (e.g. Hartstein, LeBourgeois y Berthier, 2018).

2.2. Acústica

Los principales aspectos en relación a la acústica del aula, que pueden afectar en alumnos y docentes, son el ruido, la reverberación, la claridad del mensaje y el índice de transmisión de la palabra. Mientras que el ruido y la reverberación son fenómenos físicos; tanto la claridad del mensaje como el índice de transmisión de la palabra son índices de referencia relacionados con la inteligibilidad y, por tanto, con la comunicación en el proceso de aprendizaje.

Ruido: El ruido es el parámetro acústico más relevante que afecta a profesores y estudiantes en el aula (Augustyńska *et al.*, 2010; Tiesler, Machner y Brokmann, 2015; Yassin *et al.*, 2016). Puede proceder de

fuentes ajenas al alumnado, lo que se considera ruido pasivo, o puede proceder de los propios estudiantes, lo que se considera ruido activo de la clase. El ruido pasivo puede provenir del exterior del aula (sonidos de tráfico, ruidos del patio) o del interior del edificio (ruido de máquinas de ventilación, calefacción y aparatos electrónicos) (Bluyssen, 2017). La Organización Mundial de la Salud (2015) especificó el estándar de 35 dB de ruido de fondo para el proceso de aprendizaje en el aula y existen estudios que consideran 40 dB como contaminación acústica durante la clase (Hadzi-Nikolova *et al.*, 2013; Yassin *et al.*, 2016). Por otra parte, el ruido activo incluye la manipulación de objetos en el aula, movimiento de mobiliario (sillas, mesas...), movimiento y habla de los alumnos y su nivel de dB depende de la materia objeto de aprendizaje, de la edad del alumnado y de la metodología aplicada en el aula (Sala y Rantala, 2016).

Reverberación: La reverberación se mide en segundos, a través del tiempo de reverberación (*Reverberation Time - RT*). Es un fenómeno que consiste en una leve permanencia del sonido una vez que la fuente original ya lo ha dejado de emitir. En otras palabras, es el fenómeno de reflexión que se produce cuando las ondas de sonido chocan contra el material. Afecta directamente a la comunicación en el aula porque empeora el ruido (Sodsri, 2012). También afecta al clima de trabajo en el aula y al estado emocional de profesores y alumnos (Sarlati *et al.*, 2014). No existe una medida estándar de RT para todos los ambientes y metodologías de clase. Por ejemplo, cuando la fuente de emisión del mensaje está más cerca que la fuente de ruido, el óptimo RT es 0, pero cuando la fuente de emisión de ruido está más cerca que el emisor del mensaje, cierta cantidad de reverberación es positiva (Hodgson y Nosal, 2002; McKellin *et al.*, 2011).

Claridad del mensaje e Índice de transmisión de la palabra: La claridad del mensaje es la medida que describe la calidad de recepción del mensaje. Tiene una relación directa con las ondas reflectantes de la reverberación y con la posición del receptor. Una óptima claridad del mensaje en el aula deberá tener en cuenta que la cantidad de sonido directo que llega a la posición del alumno debe ser mayor que el sonido reflejado (Youssef *et al.*, 2014). Por otra parte, el índice de transmisión de la palabra (más conocido en inglés como *Speech Transmission Index, STI*) es la medida que relaciona las ondas emitidas por el receptor con el ruido y la reverberación. Se obtiene un índice de 0 a 1, donde 1 se considera el valor óptimo de transmisión del mensaje. En el aula común, cierta reverberación será necesaria para la transmisión del mensaje, pero el exceso reduce el STI y, por tanto, la comunicación entre docente-alumno (García, Rasmussen y Brunskog, 2014). El óptimo STI del aula se consigue entre 0,4s y 0,6s (Nijs y Rychtáriková, 2011).

2.3. Temperatura y calidad del aire

Los principales aspectos a considerar en relación a la calidad del aire y el ambiente de un aula, en un sentido amplio, se pueden clasificar en la temperatura y la humedad, los niveles de oxígeno y CO₂, la presión atmosférica, la polución y los compuestos orgánicos volátiles, así como posibles olores.

Temperatura y humedad: Según Palau y Mogas (2019), son los factores ambientales más frecuentemente considerados en el control de las condiciones ambientales en los espacios inteligentes de aprendizaje. Mediante la fórmula "humidex", una combinación de temperatura y humedad se ha demostrado que los estudiantes están más concentrados cuando el humidex es más bajo, es decir, cuando sienten menos calor (Uzelac, Gligoric y Krco, 2015). Debe existir una temperatura agradable constante para no alterar las condiciones de los sujetos, y la humedad también se debe regular de acuerdo a las condiciones de la zona y época del año.

Niveles de oxígeno y CO₂: Las aulas tradicionales son espacios cerrados que se ventilan puntualmente mediante la abertura de ventanas y puertas. Esto conlleva empeorar la calidad del aire respirado a medida que avanzan las clases, hasta que se ventilan, momento en que se produce una alteración inapropiada de otras condiciones (por ejemplo, entrada de aire frío en invierno, entrada de polen en primavera, etc.). Es obvio que los espacios deben garantizar niveles óptimos de oxígeno y un control efectivo de la concentración de dióxido de carbono. Aunque existe evidencia que mayores valores de

CO₂ tienen un impacto adverso en los estudiantes, que pueden perder concentración y capacidad para atender a las tareas requeridas (Uzelac, Gligoric y Krco, 2015), lo cierto es que pocas escuelas o centros educativos regulan y controlan este aspecto.

Polución, compuestos orgánicos volátiles (VOC) y gases: La calidad del aire debe ser óptima en cualquier espacio que habite el ser humano. Asimismo, debe cerciorarse en el aula el control y regulación de compuestos orgánicos en forma de vapores o gases. Las reacciones químicas que se producen en el ambiente pueden proceder de influencia externa e incluso de procesos internos como tareas de limpieza (o falta de ella) y de los propios alumnos y ocupantes del espacio (Bluyssen, 2017).

Presión atmosférica: Uno de los aspectos más desconocidos, pero ya planteados como relevantes para ser controlados en el aula es la presión atmosférica. Heppell (2020) presenta una herramienta desarrollada para medir las condiciones ambientales del aula, el *Learnometer*, y entre sus funciones se destaca el cálculo de la presión atmosférica. Según Heppell (2020), la presión puede ser causa de dolores de cabeza que conllevan distracción y posible pérdida de concentración.

Olores: Los olores inesperados o persistentes pueden afectar el normal funcionamiento de una clase. En negativo, se reportan casos muy concretos referentes a olores de fuentes externas como humo de vehículos o hedores de alcantarillado (Radwan y Issa, 2014). Incluso el propio olor generado por los alumnos cerrados en un aula durante las sesiones de clase es un reto a solucionar en espacios de aprendizaje tradicionales. Sin embargo, los olores de fuentes externas también podrían tener efectos positivos como se plantea en el siguiente apartado.

3. Investigación sobre condiciones ambientales del aula inteligente

A partir del marco teórico expuesto en el apartado anterior, a continuación, se presentan las indicaciones extraídas por los autores sobre las necesidades en investigación que se deberían cubrir para una mejor comprensión de cómo se deben abordar los factores ambientales en un aula inteligente, a fin de parametrizar y proponer sistemas de control y regulación.

3.1. Iluminación

Fuente luminosa: En nuevos diseños de aula se debe contemplar el aprovechamiento de la luz natural desde la previsión arquitectónica y material: superficies diáfnas o translúcidas, con ventanas y conexión con el exterior. Se deben evitar reflejos, sombras y otros efectos causados por la luz, ya sea artificial o natural. Ahora bien, no cabe duda de que es mediante mecanismos tecnológicos que el aula inteligente ofrecerá soluciones: la oportunidad de regular la luz artificial con el uso de sensores y sistemas de respuesta automatizada, muy en especial adaptando la intensidad y la temperatura del color.

Intensidad de la luz: Lo expuesto en el marco teórico son valores de referencia fijos aplicables a las aulas tradicionales. Para el diseño de aulas inteligentes debería crearse un sistema dinámico en el que la intensidad sea regulable y se adapte en función de la actividad que se lleva a cabo. Este sistema dinámico permitiría un ambiente más relajado para actividades como el trabajo en grupo, y un ambiente de luz más intensa para ejercicios de alta concentración como realización de exámenes. Sin embargo, no existen estudios científicos que determinen los parámetros que se deben considerar de forma concreta, y menos ofreciendo resultados de pruebas objetivas, estadísticas y generalizables sobre efectos medibles en procesos cognitivos y de aprendizaje de los alumnos. Algo similar sucede con la temperatura del color.

Temperatura del Color Correlacionada: En el aula inteligente se entiende que no todos los procesos, actividades y metodologías que se presentan requieren la misma iluminación, haciéndose necesario un sistema dinámico. Diversos estudios sugieren que el sistema de iluminación dinámico debería permitir realizar actividades como clases magistrales o exámenes con una luz fría, y realizar trabajos en grupo o tareas que requieran reflexión, incluso aquellas más creativas, con una luz más cálida (Sleegers *et al.*, 2013; Mott *et al.*, 2014; Hansen *et al.*, 2018). La inteligencia artificial todavía no puede interpretar y dar respuesta a la regulación automatizada de CCT, por lo que los sistemas actuales deben permitir al

docente adaptar los parámetros manualmente. Eso sí, aunque existe investigación entorno a la luz fría, todavía no está empíricamente demostrado que la luz cálida favorezca determinados procesos, ni queda bien definido cómo estudiar los diferentes procesos cognitivos convergentes en el proceso de aprendizaje en relación a la iluminación. También se necesita ampliar la investigación probando qué iluminación es más conveniente para cada tipo de actividad o metodología docente.

3.2. Acústica

Ruido: El aula inteligente debe garantizar la insonorización de ruido ambiental exterior, así como la minimización del interior y del de actividad. Si bien la mayoría de las soluciones dependen de la arquitectura y los materiales usados, pueden existir dispositivos electrónicos para aplicaciones prácticas como advertir el exceso de dB. Esto permitiría que los alumnos autoregulen el ruido activo que producen, ejemplo que ya se aplica en el proyecto Smart Classroom Pro (Bautista, 2019). Para los profesores sería también una herramienta útil, tanto para mejorar la gestión de la clase, como para mejorar aspectos de la salud relacionados con el estrés o con el uso de la voz. En investigación, las principales necesidades son por ahora teóricas o abstractas. Por ejemplo: ¿Cómo incorporar sistemas de cancelación de ruido en un aula inteligente?

Reverberación: En un aula inteligente sería óptimo poder modular la reverberación en función de la actividad que se lleve a cabo (exposición, trabajo en grupo, etc.). Esto podría ser posible a través de la regulación de placas fono-absorbentes que permitan controlar la reverberación, pero se necesita profundizar en una experimentación que permita llevarlo a cabo. Por otra parte, y como en el caso del parámetro anterior, implementar una herramienta que permita al profesor conocer la reverberación del aula, además del nivel de dB, puede ser beneficioso para gestionar el cuidado de la voz.

Claridad del mensaje e Índice de transmisión de la palabra: El aula inteligente debe estar dotada de un sistema que garantice un STI óptimo y una claridad del mensaje apropiada. Esto aportaría datos en tiempo real al profesor para que pueda incidir en estos parámetros en beneficio de la comunicación en el aula. La amplificación electrónica regulada y el tratamiento de la onda de sonido de la voz del profesor a través de software específico posibilitaría una emisión sonora estable del mensaje y ofrecería la posibilidad de compensar frecuencias de emisión que interceden en la claridad del mensaje, como es el caso de las frecuencias más bajas.

3.3. Temperatura y calidad del aire

Temperatura y humedad: El aula inteligente, mediante sensores de las condiciones atmosféricas, debe garantizar una temperatura constante y unos niveles de humedad que no afecten al rendimiento de alumnos y profesores. Se sabe que los parámetros de temperatura y humedad pueden variar en función de muchos condicionantes, entre los cuales encontramos el propio cambio producido por la presencia de personas en un recinto cerrado (aula), así que los mecanismos de control físico recogerán información a tiempo real para actuar de forma autónoma para normalizar las condiciones ideales. Con el estado de desarrollo tecnológico actual, no bastan dispositivos de manipulación manual, sino sistemas que, de forma autónoma, proporcionen las condiciones ideales.

Niveles de oxígeno y CO2: En el aula inteligente debe implementarse un sistema que permita condicionar los niveles de oxígeno de forma automática y sin tener que precisar la acción humana ni acciones contraproducentes. Este sistema tiene por función acondicionar el aire juntamente con otros parámetros como la temperatura y la humedad. Se entiende que, a lo largo del día, y en diferentes días, las condiciones ambientales pueden variar por diversidad de motivos; con independencia, la tecnología inteligente detectará necesidades y dará respuesta automatizada. En la misma línea, se cree necesario realizar estudios que demuestren el impacto real del sistema para probar su valor y la conveniencia de inversión en la mejora. Como con otros parámetros, los efectos esperados se centran en el confort y bienestar, evitar problemas de salud como dolores de cabeza, etc., para conseguir mejores niveles de concentración, rendimiento, y otras variables relacionadas al aprendizaje.

Polución, compuestos orgánicos volátiles (VOC) y gases: Las aulas tradicionales tienen poco margen para controlar estos aspectos, pudiéndose someter eventualmente a controles de calidad del aire para asegurar que cumplen los parámetros recomendados por las autoridades correspondientes. Son controles puntuales que velan por cerciorar el cumplimiento mínimo de los valores regulados. Las aulas inteligentes deben proveer sistemas de control y depuración del aire más avanzados. En este aspecto, hay por delante un largo recorrido en investigación y desarrollo.

Presión atmosférica: Se trata de un elemento a considerar para ofrecer mejores soluciones en el aula inteligente y por ello existen iniciativas que lo examinan. Ahora bien, dado que hay poca literatura e investigación al respecto, todavía son muchos los interrogantes básicos que se deberían resolver: ¿Afecta la presión atmosférica de forma directa en el aprendizaje?, ¿Cómo afecta la presión atmosférica en los diferentes procesos cognitivos?, ¿Alumnos de diferentes zonas geográficas, se ven afectados de forma diferente en su rendimiento escolar a causa de la presión atmosférica?, ¿Cómo desarrollar un sistema de control de la presión para el aula inteligente?, etc.

Olores: El aula inteligente debe tener mecanismos para filtrar los malos olores. Más interesante aún, no se ha explorado cómo puede afectar perfumar o introducir aromas de forma eventual para estimular los procesos cognitivos. Así como algunos espacios públicos (determinadas tiendas o centros comerciales) utilizan esta técnica para crear bienestar en el potencial cliente, existe la hipótesis no probada que los estímulos olfativos tienen también un impacto en el estudiante. Partiendo de los principios en neurociencia aplicada en educación, los inputs positivos que acompañan al proceso de aprendizaje deberían crear un efecto favorable en la asimilación y memoria de la experiencia y el correlativo aprendizaje. No sabemos, sin embargo, si la experimentación empírica en este campo fallaría en demostrar la hipótesis nula pudiéndose explicar por la alienación cognitiva que el estímulo provocaría sobre el sujeto que lo recibe. La investigación en este ámbito puede ser interesante.

4. Conclusiones

En este trabajo se presenta una conceptualización de los factores ambientales que afectan en el aula, y a continuación se presentan las principales necesidades en investigación de estos factores para el aula inteligente. Hasta el momento se habían estudiado y abordado las condiciones ambientales del aula de una forma tangencial o aislada, mientras que el aula inteligente ya sitúa estas condiciones en el seno de su caracterización: una de las tres dimensiones que definen el aula inteligente son las condiciones ambientales.

Se concluye que hay algunas iniciativas en marcha que ya contemplan el control de las condiciones ambientales en el aula, como son Smart Classroom Project (Bautista, 2019), el *Learnometer* de Heppell (2020), entre otros, pero abordan las posibilidades de forma parcial o contemplando solamente alguno de sus elementos. Esto se justifica por la falta de evidencia científica en relación a cómo adaptarlas en lo que refiere a las condiciones ambientales, y de aquí el interés de este trabajo.

En especial, se remarca la necesidad de más investigación en la influencia de la temperatura del color de la luz sobre procesos cognitivos que requieren relajación, investigación en sistemas que permitan establecer mejor las condiciones acústicas del aula para ofrecer datos al profesor y que pueda tomar decisiones, así como investigación en el control y regulación de la calidad del aire, por ejemplo para favorecer el desarrollo sistemas de inteligencia artificial que puedan procesar datos recogidos por instrumentos como el *Learnometer* (Heppell, 2020). La investigación debe proporcionar la evidencia necesaria para tomar las decisiones oportunas en favor de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

El presente trabajo cumple el objetivo de establecer un marco de referencia sobre las condiciones ambientales en el aula inteligente e identificar las necesidades en investigación. La principal limitación encontrada ha sido que las propuestas para cada condición ambiental son seleccionadas, lo que implica haber descartado cantidad de posibilidades (y necesidades) que se podrían desglosar en detalle para

estudios más focalizados a cada una de ellas. Con todo, la selección pretende ser útil dado que establece las necesidades consideradas más destacadas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible con el apoyo de la Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Economia i Coneixement de la Generalitat de Catalunya, de la Unión Europea (UE) y del Fondo Social Europeo (FSE) (número de expediente: 2017 FI_B 00085).

Referencias bibliográficas

Augustyńska, D., Kaczmarska, A., Mikulski, W., y Radosz, J. (2010). Assessment of Teachers' Exposure to Noise in Selected Primary Schools. *Archives of Acoustics* 35(4), 521–542. <http://doi.org/10.2478/v10168-010-0040-2>

Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., y Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118-133. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>

Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., y Barrett, L. (2017). The holistic impact of classroom spaces on learning in specific subjects. *Environment and Behavior*, 49(4), 425–451. <http://doi.org/10.1177/0013916516648735>

Barrett, P., Zhang, Y., Moffat, J., y Kobbacy, K. (2013). A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. *Building and Environment*, 59, 678-689. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.016>

Bautista, G. [@smart_open]. (2019, 3 de noviembre). *¿Qué es una smart classroom?* <http://epce.blogs.uoc.edu/es/2019/10/03/organizar-aula-filas-columnas-sillas-mesas-delante-pizarra-no-responde-expectativas-necesidades-educativas/> cc @SmartClassPro @UOCpsicoedu @UOC_research #educacion #education #learningspace #smartclassroom. [Infographic attached] [Tweet]. Twitter. https://twitter.com/smart_open/status/1190958459178668033

Bluyssen, P. M. (2017). Health, comfort and performance of children in classrooms - New directions for research. *Indoor and Built Environment*, 6(8), 1040–1050. <https://doi.org/10.1177/1420326X16661866>

Bosch, R. (2018). *Designing for a Better World Starts at School*. Saxo Publish.

Cech, P. (2016). Smart Classroom Study Design for Analysing the Effect of Environmental Conditions on Students' Comfort. *Intelligent Environments*, 21, 14-23. <http://doi.org/10.3233/978-1-61499-690-3-14>

García, D. P., Rasmussen, B., y Brunskog, J. (2014). Classroom acoustics design for speakers' comfort and speech intelligibility: a European perspective. In *Proceedings of Forum Acusticum*.

García, S. (2017). *Análisis de la intensidad de luz incidente en aulas de la UIB*. [Memoria del Trabajo de Final de Grado]. <http://hdl.handle.net/11201/145682>

Hadzi-Nikolova, M., Mirakovski, D., Zdravkovska, M., Angelovska, B., y Doneva, N. (2013). Noise exposure of school teachers - Exposure levels and health effects. *Archives of Acoustics*, 38(2), 259–264. <https://doi.org/10.2478/aoa-2013-0031>

Hansen, E. K., Lourcing, S., Georgieva, D., y Schledermann, K. M. (2018). The Impact of Dynamic Lighting in Classrooms. A Review on Methods. En A. Brooks, E. Brooks, C. Sylla (Eds.), *Interactivity, Game Creation, Design, Learning, and Innovation*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76908-0_46

Hartstein, L. E., LeBourgeois, M. K., y Berthier, N. E. (2018). Light correlated color temperature and task switching performance in preschool-age children: Preliminary insights. *PLoS ONE*, 13(8), e0202973. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0202973>

Heppell. (2020). *Learnometer research: helping you to monitor your classroom environment for factors which may hinder learning*. <http://rubble.heppell.net/learnometer/>

Hodgson, M., y Nosal, E. M. (2002). Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 111(2), 931. <http://doi.org/10.1121/1.1428264>

JISC. (2006). *Designing spaces for effective learning: A guide to 21st century space design*. HEFCE

Lara, R. A., y Sangucho, M. E. (2017). Hacia una nueva medición de niveles de luminosidad en ambientes interiores mediante el uso de una Red de Sensores Inalámbricos / Towards a new measuring luminosity level in indoor scenarios by using Wireless Sensor networks. *RECI Revista Iberoamericana De Las Ciencias Computacionales E Informática*, 6(12), 25-43. <https://doi.org/10.23913/reci.v6i12.66>

LedBox. (2020). *Niveles recomendados de iluminación por zonas*. [Web]. <https://blog.ledbox.es/informacion-led/niveles-recomendados-lux>

Lehtniemi, N. (2016). *Toda la verdad sobre la escuela finlandesa*. <https://finland.fi/es/vida-y-sociedad/toda-la-verdad-sobre-la-escuela-finlandesa/>

Lin, J., Ding, X., Hong, C., Pang, Y., Chen, L., Liu, Q., Zhang, X., Xin, H., y Wang, X. (2019). Several biological benefits of the low color temperature light-emitting diodes based normal indoor lighting source. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43864-6>

Liu, D., Huang, R., y Wosinski, M. (2017). Contexts of Smart Learning Environments. En D. Liu, R. Huang y M. Wosinski (Eds.), *Smart Learning in Smart Cities. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer. http://doi.org/10.1007/978-981-10-4343-7_2

López, M. (2019). The Integration of digital devices into learning spaces according to the needs of primary and secondary teachers. *TEM Journal*, 8(4), 1351–1358. <https://doi.org/10.18421/TEM84-36>

Martinez-Nicolas, A., Ortiz-Tudela, E., Madrid, J. A., y Rol, M. A. (2011). Crosstalk between environmental light and internal time in humans. *Chronobiology International*, 28(7), 617–629. <http://doi.org/10.3109/07420528.2011.593278>

McKellin, W. H., Shahin, K., Hodgson, M., Jamieson, J., y Pichora-Fuller, M. K. (2011). Noisy zones of proximal development: Conversation in noisy classrooms. *Journal of Sociolinguistics*, 15(1), 65-93. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9841.2010.00467.x>

Mogas, J., Palau, R., Lorenzo, N., y Gallon, R. (2020 - En prensa). Developments for Smart Classrooms: Schools Perspective and Needs. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 12(4).

Mott, M. S., Robinson, D. H., Williams-Black, T. H., y McClelland, S. S. (2014). The supporting effects of high luminous conditions on grade 3 oral reading fluency scores. *SpringerPlus*, 3, art. 53. <http://doi.org/10.1186/2193-1801-3-53>

Nijs, L., y Rychtáriková, M. (2011). Calculating the Optimum Reverberation Time and Absorption Coefficient for Good Speech Intelligibility in Classroom Design Using U50. *Acta Acustica united with Acustica*, 97(1), 93-102. <http://doi.org/10.3813/AAA.918390>

Organización Mundial de la Salud. (2015). *School environment: Policies and current status*. WHO Regional office for Europe. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/276624/School-environment-Policies-%20current-status-en.pdf?ua=1

Palau, R., y Mogas, J. (2019). Systematic literature review for a characterization of the smart learning environments. En A. M. Cruz y A. I. Aguilar (Eds.), *Propuestas multidisciplinares de innovación e intervención educativa* (pp. 55-71). Universidad Internacional de Valencia. ISBN 978-84-09-07242-2. <https://www.universidadviu.es/modelo-de-investigacion/>

Radwan, A., y Issa, M. H. (2014). An evaluation of indoor environmental quality and occupant well-being in manitoba school buildings. *Journal of Green Building*, 12(1), 123–141.

Sala, E., y Rantala, L. (2016). Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland. *Applied Acoustics*, 114, 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.009>

Sarlati, S., Haron, Z., Yahya, K., Darus, N., Dimon, N., y Athari, P. (2014). The Importance of Acoustic Quality in Classroom. *Jurnal Teknologi*, 70(7), 71-76. <http://doi.org/10.11113/jt.v70.3581>

Slegers, P., Moolenaar, N., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarroukh, B., y van der Zande, B. (2013). Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. *Comparative Political Studies*, 45(2), 1267–1297. <https://doi.org/10.1177/0010414010390653>

Sodsri, C. (2012). Effects of classroom reverberation and listeners' locations to speech intelligibility. In *9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*. <https://doi.org/10.1109/ECTICon.2012.6254178>

Tiesler, G., Machner, R., y Brokmann, H. (2015). Classroom Acoustics and Impact on Health and Social Behaviour. *Energy Procedia*, 78, 3108-3113. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.765>

UNE-EN 12464-1. (2003). *Iluminación de lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores*.

Uzelac, A., Gligoric, N., y Krco, S. (2015). A comprehensive study of parameters in physical environment that impact students' focus during lecture using Internet of Things. *Computers In Human Behavior*, 53, 427-434. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.023>

Yassin, M. F., Almutairi, H., Alhajeri, N., Al-Fadhli, F., Al Rashidi, M. S., Shatti, T. (2016). Assessment of noise exposure and associated health risk in school environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(8), 2011-2024. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1035-y>

Youssef, R. S., Bard, D., Mahmoud, A. E., y Esa, N. M. (2014). Acoustical quality assessment of lecture halls at Lund University, Sweden. 43rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise 2014), *Australian Acoustical Society*, 1382-1391.