

Anuario



ILUMINACIÓN INTEGRADORA

Una respuesta a los desafíos ambientales de diseño en la arquitectura para la salud

Arq. Valeria D. Paviglianiti, D.I. Roberto G. Rodríguez, D.I. Andrea E. Pattini



El diseño arquitectónico para la salud representa un desafío debido a sus numerosos requerimientos funcionales, al tiempo que busca crear espacios confortables, eficientes, que promuevan la salud de los profesionales, pacientes, y acompañantes. En este contexto, la iluminación ocupa un rol central, ya que la evidencia científica [1,2,3] ha demostrado que la radiación óptica (ultravioleta,

visible e infrarroja) no solo influye en la percepción visual del ser humano sino también en sus respuestas circadianas, neuroendocrinas y neuroconductuales, las llamadas repuestas no visuales. En este sentido, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) definió como término oficial la iluminación integradora para referirse a la iluminación destinada a integrar efectos visuales y no visuales [4].

La luz diurna es el principal sincronizador del ritmo circadiano, y proporciona numerosos beneficios psicológicos y fisiológicos [5]. Por otro lado los edificios que utilizan iluminación natural eficientemente generan ahorros económicos considerables, con reducciones del orden del 50-80% del consumo de luz artificial durante el día [6]. Para ello, las simulaciones son herramientas eficaces que permiten evaluar la disponibilidad de la luz natural en espacios interiores, fundamentales para el diseño eficiente de iluminación. El objetivo de este artículo es presentar el concepto de iluminación integradora, destacar los beneficios que aporta la luz natural, y su importancia en la incorporación de proyectos para la salud, así como exponer los requisitos actuales en el diseño de iluminación integradora. Además se explora el potencial de las simulaciones de luz natural basadas en el clima para promover el ahorro energético y el control solar. Finalmente, se presenta un estudio de simulación realizado como parte de la tesis doctoral de la autora, que analiza el impacto de la luz natural en consultorios de guardia gineco-obstétricos en el Área Metropolitana de Mendoza

1. Beneficios de la luz natural

La luz es el principal sincronizador del ritmo circadiano, a través del ciclo natural de luz-oscuridad de 24 hs. El sistema no visual recibe señales lumínicas a través de los fotorreceptores de la retina, conos, bastones y células ganglionares intrínsecamente fotosensibles (iPRGC) y establece una réplica interna del día y la noche externos, facilitando la sincronización con la hora local y vinculando el mundo exterior y el cuerpo. El sistema de sincronización circadiana afecta la producción de hormonas, la función metabólica, el sueño, estado de ánimo, el estado de alerta y las funciones cognitivas [7]. La secreción de melatonina, hormona que promueve el sueño en los seres humanos [8], se inhibe con la

exposición a la luz, y se produce en períodos de oscuridad. Medido a partir de la supresión de melatonina, el sistema circadiano, es sensible a la longitud de onda corta (azul) con una sensibilidad máxima aproximadamente a los 480 nm. La exposición a la luz azul, especialmente durante la mañana, ayuda a suprimir la producción de melatonina, lo que nos mantiene despiertos y alertas. Por otro lado, su ausencia durante la noche permite que la melatonina se libere, lo que nos ayuda a prepararnos para dormir.

La luz diurna es la fuente ideal para sincronizar el sistema circadiano humano, ya que proporciona la intensidad, el espectro, la distribución, el momento y la duración de la exposición adecuados para la sincronización con la hora local. Por otro lado, al ser la luz diurna una fuente luminosa sin parpadeos, con una distribución continua de potencia espectral y un Índice de Reproducción Cromática (en inglés CRI) de 100, mejora el rendimiento visual al permitir una correcta discriminación de colores. Además, proporciona niveles elevados de iluminancia que facilitan la percepción de detalles, favoreciendo la agudeza visual. Sin embargo, para garantizar el confort visual, térmico y psicológico deseado, es crucial controlar el uso de la luz natural en los edificios, como señala Reinhart [9].

La luz diurna beneficia de varias maneras a los diferentes usuarios de los espacios para la salud. En el caso de los pacientes, la exposición a la luz solar promueve su recuperación al reducir el dolor [10], disminuir los niveles de estrés, requerir menos analgésicos [11], y acortar el tiempo de estancia en el hospital [12-13]. Además, puede mejorar el estado de ánimo y reducir la depresión en pacientes con trastorno bipolar [14]. En los profesionales contar con el acceso a suficiente luz natural aumenta la satisfacción laboral, reduce el estrés [15-16] y fomenta las interacciones sociales positivas [17]. Por otro lado, los profesionales han identificado que la luz natural en la habitación de los pacientes facilita su trabajo al permitirles realizar la revisión de los pacientes mediante el reconocimiento e interpretación de los cambios de color en la piel [18].

2. Iluminación integradora en el diseño arquitectónico

La iluminación integradora abarca los efectos visuales y no visuales de la luz, considerando el bienestar, la salud, las capacidades para socializar y trabajar, y la calidad global de la iluminación. Es un término que acuñó la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) en el 2019 para unificar conceptos (e.g. “iluminación centrada en el ser humano”, “iluminación dinámica”, “iluminación circadiana”), y enfocarse en los resultados positivos de la radiación óptica. Se define como “Iluminación que integra específicamente efectos visuales y no visuales y produce beneficios fisiológicos y/o psicológicos en los seres humanos” [4]. A lo largo del tiempo, el discurso sobre iluminación ha evolucionado desde la noción de calidad de iluminación hacia el concepto de Iluminación centrada en el ser humano, que incorpora los elementos tradicionales de calidad de iluminación junto a las respuestas no visuales [19].

En la arquitectura la iluminación esta sujeta a requisitos específicos del proyecto y sus usuarios. Según Houser et. al. [19], el diseñador tiene el control sobre las siguientes variables de iluminación que son esenciales en la percepción no visual: la distribución luminosa, el espectro, nivel de luz y el momento- duración de la exposición. La forma en la que interactúan estas variables modifica los resultados y la influencia en los usuarios (Figura 1).

La Sociedad Alemana de Tecnología y Diseño de Luz (LiTG) [20], propone cuatro requisitos principales para una iluminación de calidad en un proyecto:

- Funcionales: buscan crear condiciones óptimas para ver y facilitar las tareas visuales. Éstos difieren en función del tipo de actividad, condiciones ambientales y necesidades individuales.
- Biológicos: consideran la influencia de la luz en el ritmo circadiano, el estado de alerta, la relajación, y la prevención de efectos psicológicos y fisiológicos adversos de la radiación óptica.
- Psicológicos: buscan promover el buen estado de ánimo y satisfacer las necesidades psicológicas al proporcionar información sobre el entorno, la ubicación, la hora del día, el tiempo, la seguridad y la orientación. Además, se reconocen las preferencias, la satisfacción, la relajación y el bienestar.
- Arquitectónicos: se enfocan en realzar las características arquitectónicas y respaldar el concepto del edificio mediante la iluminación, contribuyendo así a la apreciación estética del espacio.

En la tabla 1 se presentan normas de referencia tanto a nivel nacional como

internacional que orientan el diseño de iluminación, abordando tanto la iluminación natural como artificial en entornos laborales interiores. Además, se incluyen guías que ofrecen pautas específicas para promover el ritmo circadiano de los trabajadores diurnos.

3. Ahorro energético en hospitales

Los edificios que utilizan iluminación natural de manera eficiente no solo contribuyen de manera significativa a la reducción del impacto ambiental, sino que también generan ahorros económicos. En Argentina, el Plan Nacional de Transición Energética a 2030 tiene como objetivo reducir al menos un 8% de la demanda energética mediante la eficiencia energética y uso responsable de energía [21]. En nuestro país, se estima que un hospital consume aproximadamente $0,5 \text{ GJ/m}^2$, mientras que en Estados Unidos esta cifra asciende a $1,3 \text{ GJ/m}^2$ [22]. Actualmente, el consumo de iluminación eléctrica en el país no se ha determinado con precisión, y es importante tener en cuenta que el tipo de construcción, diseño y ubicación geográfica pueden generar variaciones significativas en el consumo energético de los edificios a lo largo del país.

Según el Comité Español de Iluminación y el Instituto para la Diversificación y

Ahorro de Energía (IDAE), en hospitales el consumo energético destinado a iluminación representa aproximadamente entre el 20% y 30% del consumo total [23].

El ahorro energético en iluminación calculado mediante simulaciones, ajustando la iluminación artificial en función de la disponibilidad de luz natural, varía entre un 20% y 77% [24]. Bodart & Herde [24] revelaron con simulaciones paramétricas que la transmitancia visible del vidrio, la configuración de la fachada, la orientación de las aberturas y el ancho de la habitación son factores claves para reducir el consumo de iluminación artificial. Este estudio mostró un ahorro energético en iluminación entre 50% y 80%.

Cesari et al. [25] analizaron el impacto del tamaño de la ventana y el tipo de acristalamiento en la demanda energética de calefacción, refrigeración e iluminación en una habitación de paciente. Mediante una estrategia de control de la iluminación dimerizable dependiente de la iluminación natural disponible, mostraron un ahorro de energía primaria de iluminación de hasta 50%.Final del formulario

4. Simulaciones de iluminación natural

Actualmente, la necesidad de reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia de los edificios destaca la importancia de evaluar la disponibilidad de la luz natural en espacios interiores, y la simulación es una potente herramienta para ello.

La luz diurna varía a lo largo del día, dependiendo de factores como la ubicación geográfica, la estación del año y el clima luminoso local. Entender el clima luminoso de cada región es fundamental para prever la disponibilidad de luz natural.

Entre los métodos para predecir la cantidad de luz natural en edificios se encuentra la modelización de la luz diurna basada en el clima (del inglés CBDM Climate Based Daylight Modelling), desarrollada en el 2000 por Mardaljevic [26] y Reinhart y Herkel [27]. Este método predice valores radiométricos o fotométricos

considerando las condiciones del sol y del cielo a lo largo del año, utilizando datos meteorológicos representativos de la ubicación estudiada. Los resultados de CBDM están influenciados por la ubicación geográfica, la orientación del edificio, la configuración de las ventanas, la geometría del espacio, el entorno circundante y las propiedades ópticas de los materiales. A través de la simulación se pueden calcular métricas de iluminación que predicen la disponibilidad de luz natural. Éstas incorporan criterios temporales y espaciales en el análisis, por ejemplo evaluar un año completo desde las 8 a las 18 horas, para cuantificar la cantidad de luz diurna interna, evaluar el potencial aprovechamiento de la luz natural de un edificio, y la aparición de iluminancias o luminancias excesivas.

En algunos métodos de evaluación ambiental y certificaciones de la sostenibilidad en la edificación, como por ejemplo LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y WELL (WELL Building Standard), existe un apartado que evalúa la iluminación, y en él se contempla la luz natural. En ambos casos se evalúa el rendimiento de la luz diurna a partir de la métrica dinámica Spatial Daylight Autonomy ($sDA_{300/50\%}$). En el caso de LEED, también realizan evaluaciones a partir de la métrica Annual Sunlight Exposure (ASE) y Useful Daylight Illuminances (UDI).

5. Casos de estudio

En su tesis doctoral, la autora analizó el sistema de salud de Mendoza y seleccionó consultorios de guardia gineco-obstétricos del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) como casos de estudio. Se relevaron seis consultorios de hospitales con diferentes niveles de complejidad y capacidad de atención médica con el fin de evaluar la disponibilidad de luz natural en el interior mediante simulación.

Primeramente se realizó el relevamiento físico y fotométrico de los espacios a través del método de la cuadrícula, variante AHRA–INAHE [28]. Posteriormente se simuló la disponibilidad de luz diurna en el interior con la aplicación web de acceso libre “Dynamic Daylighting V2.0.0” para las cuatros estaciones y un año completo.

Se utilizó el archivo de base climática de la Ciudad de Mendoza. El horario de ocupación analizado fue de 8 a 18 horas, siguiendo las recomendaciones de la norma IES LM-83-12. La altura del plano de trabajo se fijó a 0.75 m.

Posteriormente se simularon las métricas dinámicas Autonomía Espacial de Luz Diurna (del inglés sDA) y la Iluminancia Útil de la Luz Diurna excesiva (del inglés UDle). La $sDA_{300/50\%}$, indica el porcentaje del área de la habitación que esta por encima del umbral especificado (300 lx), durante mas del 50% de las horas de ocupación. Por su parte, la métrica UDle (>3000 lx) mapea el porcentaje de tiempo de ocupación en que los niveles de luz diurna en cada punto de la cuadrícula superan los 3000 lx. Cabe destacar que las simulaciones no incluyeron elementos de protección solar exterior, y la aplicación no permite simular elementos de protección solar interiores ni divisiones internas.

Los resultados de las simulaciones anuales, mostrados en la tabla 2 y figura 2, de la métrica $sDA_{300/50\%}$ varían entre 0%-88,3% y de la métrica UDle varían entre 0%-6,59% de acuerdo al caso de estudio. El análisis estacional, presentado en la tabla 3 y figura 3, muestra gran variabilidad interestacional, especialmente en los casos de estudio C y D. En el primero, la métrica $sDA_{300/50\%}$ en verano alcanza el 100% y disminuye al 47,4% en invierno, mientras que en el segundo caso, la métrica $sDA_{300/50\%}$ es del 100% en verano y del 15,47% en invierno.

En conclusión, la herramienta de simulación seleccionada permite conocer la situación anual dinámica de los casos de estudio, demostrando su utilidad para anteproyectos y refuncionalizaciones. Los casos de estudio presentan gran heterogeneidad de disponibilidad de luz diurna y variabilidad interestacional, que evidencia la necesidad de complementar con luz artificial para cumplir con los estándares requeridos. En cuanto al cumplimiento de certificaciones internacionales, solo el caso C cumple con los requisitos de WELL al disponer de un $sDA_{300/50\%}$ medio mayor al 75% de la superficie útil.

Conclusiones

El trabajo resalta la complejidad inherente al diseño de espacios para la salud con iluminación integradora, subrayando su importancia fundamental en base a los beneficios psicológicos y fisiológicos que proporciona a sus ocupantes. Este

enfoque destaca la interconexión entre el entorno construido y el bienestar humano, enfatizando la necesidad de considerar la iluminación como un componente fundamental del diseño arquitectónico.

Una gran parte de la solución para lograr la iluminación integradora en los espacios interiores consiste en incorporar la luz natural en los proyectos, dado que es la fuente ideal para sincronizar el sistema circadiano con la hora local, proporcionando la luz adecuada en el momento adecuado. Sin embargo, es crucial contar con estrategias de control solar para lograr el confort visual y térmico de los ocupantes.

Diversos estudios han demostrado que es posible disminuir el consumo de iluminación artificial mejorando el aprovechamiento de luz natural en los interiores. Por ello se propone al CBDM como herramienta predictiva, que debe ser contrastada con valores reales medidos in situ para validar los modelos de simulación.

En el marco legal y normativo del país, es necesario incorporar métricas dinámicas de iluminación natural que permitan evaluar la ocurrencia temporal de la luz natural en los espacios interiores. Por eso, en el artículo se presentan los avances a nivel internacional que pueden ser útiles para los proyectistas.

La iluminación integradora es un abordaje aún en desarrollo. El presente artículo esbozó su estado del arte con especial énfasis en los recursos y herramientas disponibles para que los proyectistas puedan proporcionar la luz adecuada en el momento adecuado en entornos hospitalarios.

Bibliografía

[1] Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A., & Markey, S. P. (1980). Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, 210(4475), (1267-1269).

- [2] Zeitzer, J. M., Dijk, D. J., Kronauer, R. E., Brown, E. N., & Czeisler, C. A. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *The Journal of physiology*, 526(3), (695-702).
- [3] Cajochen, C., Munch, M., Kriebel, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., ... & Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The journal of clinical endocrinology & metabolism*, 90(3), (1311-1316).
- [4] Schlangen, L. J. (2019). CIE position statement on non-visual effects of light: recommending proper light at the proper time. 2nd edition, Vienna, Austria: CIE, 2019.
- [5] Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). *The benefits of daylight through windows*. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- [6] Bodart, M., & De Herde, A. (2002). Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. *Energy and buildings*, 34(5), (421-429).
- [7] Boyce, P. R. (2022). Light, lighting and human health. *Lighting Research & Technology*, 54(2), (101-144).
- [8] Scheer, F. A., & Czeisler, C. A. (2005). Melatonin, sleep, and circadian rhythms. *Sleep medicine reviews*, 1(9), (5-9).
- [9] Reinhart, C. (2014). *Daylighting Handbook I: Fundamentals [and] Designing with the Sun*. RIA Stein.
- [10] Guyton, A.C. and Hall, J.E. (2000). *Textbook of Medical Physiology*, 10th ed. Philadelphia: WB Saunders Co. <http://www.lrc.rpi.edu/Futures/LF-Photobiology/index.html>. accessed on June 11, 1998.
- [11] Walch, J.M., Rabin, B.S., Day, R., Williams, J.N., Choi, K., and Kang, J.D. (2005). The effect of sunlight on postoperative analgesic medication usage: A prospective study of spinal surgery patients. *Psychosomatic Medicine*. 67(1).(156-

163).

[12] Benedetti, F., Colombo, C., Barbini, B., Campori, E., & Smeraldi, E. (2001). Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression. *Journal of Effective Disorders*, 62(3), (221-223).

[13] Choi, J.H., Beltran, L.O., & Kim, H.S. (2012). Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. *Building and environment*, 50, (65-75).

[14] Zimring, C., Joseph, A., & Choudhary, R. (2004). The role of the physical environment in the hospital of the 21st century: A once-in-a-lifetime opportunity. Concord, CA: The Center for Health Design, 311.

[15] Alimoglu, M. K., & Donmez, L. (2005). Daylight exposure and the other predictors of burnout among nurses in a University Hospital. *International journal of nursing studies*, 42(5), (549-555).

[16] Pati, D., Harvey Jr, T. E., & Barach, P. (2008). Relationships between exterior views and nurse stress: An exploratory examination. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 1(2), (27-38).

[17] Zadeh, R. S., Shepley, M. M., Williams, G., & Chung, S. S. E. (2014). The impact of windows and daylight on acute-care nurses' physiological, psychological, and behavioral health. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 7(4), (35-61).

[18] Alzubaidi, S. A., Roaf, S., Banfill, P. F. G., Talib, R. A., & Al-Ansari, A. (2013). Survey of hospitals lighting: Daylight and staff preferences. *International Journal of Energy Engineering*, 3(6), (287-293).

[19] Houser, K. W., Boyce, P. R., Zeitzer, J. M., & Herf, M. (2021). Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor?. *Lighting research & technology*, 53(2), (97-118).

[20] LiTG, Deutsche Gesellschaft für LichtTechnik und LichtGestaltung e. V.

Lighting Quality- A process rather than a single figure.

https://www.litg.de/media/19873.36_Lighting_Quality_Download

[21] Ministerio de Economía Argentina. Secretaria de Energía. Plan Nacional de Transición energética 2030 (Mayo 2023). <https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2023/07/Plan-Transicion-Energetica-ARG-2030.pdf>

[22] Eficiencia Energética en Argentina. Diagnóstico del Sector de Servicios: Administración pública, Enseñanza, Servicios sociales y salud, Alumbrado Público, Comercios, Hoteles y Restaurantes (Agosto 2021) https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/09222240_19-SectorServiciosintegradoV2.pdf

[23] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-de-eficiencia-energetica-en-iluminacion-hospitales-y-centros-de-atencion>

[24] Bodart, M., & De Herde, A. (2002). Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. *Energy and buildings*, 34(5), (421-429).

[25] Cesari, S., Valdiserri, P., Coccagna, M., & Mazzacane, S. (2020). The energy saving potential of wide windows in hospital patient rooms, optimizing the type of glazing and lighting control strategy under different climatic conditions. *Energies*, 13(8), 2116.

[26] Mardaljevic, J., 2000a. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. *Light. Res. Technol.* 32, (111–118).

[27] Reinhart, C. F., & Herkel, S. (2000). The simulation of annual daylight illuminance distributions—a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. *Energy and buildings*, 32(2), (167-187).

[28] Riva, R. & Rodríguez, R. G. (2022). Medición de los niveles de iluminación por

el método de la cuadrícula. Variante AHRA – INAHE. <https://ahra.org.ar/2022/06/27/metodo-ahra-inahe/>

[29] Houser, K. W., & Esposito, T. (2021). Human-centric lighting: Foundational considerations and a five-step design process. *Frontiers in neurology*, 12, 630553.

Valeria D. Paviglianiti, arquitecta, egresada en 2009 de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de Mendoza. Es diplomada en iluminación y acústica arquitectónica por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo. Actualmente se desempeña como becaria doctoral en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, MENDOZA.

vpaviglianiti@mendoza-conicet.gob.ar

Roberto G. Rodríguez, diseñador industrial, egresado en 2003 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es Doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (2012). Investigador Adjunto del INAHE y docente universitario.

rgrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar

Andrea E. Pattini, diseñadora industrial, egresada en 1985 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación

Eficiente por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT (2007).

Investigadora Principal y Directora del INAHE, Vicedirectora del Centro Científico y Tecnológico, CONICET, MENDOZA, y docente universitaria.

apattini@mendoza-conicet.gob.ar

Q U É O P I N A S ?



0

Points



