

Validación de un instrumento de valoración de Iluminación Integradora mediante la experiencia del usuario. Caso de estudio: Biblioteca Sede Central Universidad de Mendoza

Validation of an Integrating Lighting assessment instrument through user experience. Case study: Mendoza University Central Library

Presentación: 8-9/10/2024

Doctoranda:

Verónica J. RUIZ

INAHE Instituto de Ambiente Hábitat y Energía –CONICET - CCT Mendoza – Argentina.
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad de Mendoza - Argentina
vruiz@mendoza-conicet.gob.ar

Director:

Roberto G. RODRIGUEZ

Codirectora:

Andrea E. PATTINI

Resumen

Se propone validar en trabajo de campo una herramienta a ad-hoc para la evaluación integral del ambiente visual. La misma ha sido desarrollada en el marco de la tesis doctoral de la autora principal del presente trabajo. El desarrollo de esta investigación nos permitirá poner a prueba la herramienta utilizada, la cual surge de un estudio Delphi previo. Como resultado permitiría tener la medición del espacio, y una valoración de las virtudes en términos de simplicidad, facilidad de uso, validez, confiabilidad y no intrusividad. El objetivo general es lograr una evaluación de iluminación integradora de la biblioteca de la sede central de la Universidad de Mendoza. Para esto se propuso validar la herramienta creada. Los resultados obtenidos demuestran que la metodología empleada permite realizar una evaluación lumínica del espacio y los datos indican que no se consiguen los niveles de iluminancia solicitados por la legislación vigente. Siendo positivas las apreciaciones de los usuarios respecto de la biblioteca.

Palabras clave: Indicadores, Iluminación Integradora, Método de Evaluación Ambiental.

Abstract

It is proposed to validate in fieldwork an ad-hoc tool that would allow a comprehensive assessment of the visual environment. This tool has been developed within the framework of the doctoral thesis of the main author of this paper. The development of this research will allow us to test the tool used, which is the result of a previous Delphi study. As a result, we will be able to measure the space and evaluate its virtues in terms of simplicity, ease of use, validity, reliability and non-intrusiveness. The general objective is to achieve an integrated lighting evaluation of the library of the central headquarters of the University of Mendoza. For this purpose, it was proposed to validate the tool created. The results obtained show that the methodology used allows a lighting evaluation of the space and the data indicate that the illuminance levels requested by the standard are not achieved. The user's appreciation of the library is positive.

Keywords: Indicators, Integrative Lighting, Environmental Assessment Method.

Introducción

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad se relaciona con la degradación ambiental, el sobreuso de recursos limitados y el cambio climático. Para esto es importante proyectar/remediar entornos construidos que propicien el ahorro energético sin detrimento de la calidad ambiental interior. Evaluar los espacios desde una visión integral, favoreciendo en desempeño visual, saludable, eficaz y eficiente. La iluminación integradora (II) es la que proporciona información tanto al sistema visual como a una serie de procesos fisiológicos no visuales (Vetter & Col, 2022). El objetivo de la II en la arquitectura debería ser optimizar la exposición a la luz para influir de forma beneficiosa en funciones que se ven afectadas por la luz, tal y como se destaca en una reciente declaración de posición de la CIE (Schlangen, 2019). En los últimos años se han producido muchos avances en términos de conceptualización y medición de este término relativamente joven (por ejemplo, CIE S026; ISO/CIE TR 21783:2022), sin embargo, es necesario afinar las prescripciones metodológicas a la hora de medir la iluminación integradora sobre el terreno (Khoshbakht, & Col, 2018). En tiempos recientes se han expandido enormemente los espacios con iluminación natural generada a partir de importantes superficies vidriadas, iluminación cenital, frentes integrales, grandes aberturas vidriadas, sin contar protecciones. Es importante considerar que los requerimientos de eficiencia y confort visual en edificios y bibliotecas son particularmente críticos y difieren respecto a los requerimientos de espacios comerciales. Esto permite un beneficio a la hora de iluminar el espacio, pero no se tiene en cuenta que el exceso de ingreso de luz solar sin controles puede causar molestias visuales. Además, y dependiendo de las condiciones climáticas locales, las superficies de vidrio sin protecciones en edificios causan ganancias de calor solar excesiva en el verano y pérdidas de calor en el invierno. Lo que paralelamente, promueve la estratificación sobre todo en el verano, afectando el confort de los usuarios, induciendo al desmedido uso de energía para el acondicionamiento térmico, que se vuelve imprescindible los edificios. Es importante mencionar que luz natural no es sinónimo de luz solar. Generalmente se asume que, a priori, las personas prefieren la luz natural dentro de los edificios, siempre y cuando no este acompañado de discomfort térmico o de posibles deslumbramientos originados por esa fuente de iluminación solar. El grado de valoración positiva a luz del natural depende de muchos factores locales, entre ellos el clima, la cultura y hasta los prejuicios. No hay dudas de que las personas prefieren la luz natural al realizar tareas en los espacios interiores de sus edificios, particularmente espacios de estudio o trabajo (Pattini, 2009). Sin embargo, la disponibilidad de niveles altos de luz solar característica de los climas desérticos en un ambiente interior podría disminuir las condiciones óptimas visuales, no sólo debido a reacciones psicológicas negativas debido a un exceso de luz del sol, sino también por las variables características de la luz del día que definen el ambiente luminoso: (i) condiciones de cielo; (ii) intensidad y distribución; (iii) colores y energía radiante. Las variables (i) y (ii) definen en la etapa de prediseño la estrategia de iluminación natural más conveniente para optimizar la disponibilidad regional. El confort visual está influenciado principalmente por el nivel de iluminancia del espacio, el índice de deslumbramiento y la distribución espacial de la luz natural. La capacidad de los usuarios de los edificios de adaptarse a las condiciones dinámicas del ambiente es muy importante. El sistema visual humano tiene mecanismos físicos, neurales y fotoquímicos para adaptarse a las cambiantes condiciones de la iluminación. Se propone validar en campo de una herramienta a ad-hoc que permitiría una evaluación integral del ambiente visual. La misma ha sido desarrollada en el marco de la tesis doctoral del autor principal de este artículo. El desarrollo de esta investigación nos permitirá poner a prueba la herramienta utilizada, la cual surge de un estudio Delphi previo (Ruiz, Rodríguez, Paviglianiti Labiano, & Pattini, 2022). Como resultado permitiría tener la medición del espacio, y una valoración de las virtudes en términos de simplicidad, facilidad de uso, validez, confiabilidad y no intrusividad de esa herramienta desde el punto de vista de los usuarios. Cuando hablamos usuarios nos referimos a quienes forman parte del equipo de investigación de este proyecto, estudiantes de la Universidad de Mendoza. Se propone un meta-análisis de los datos de iluminación integradora que se han recolectado. En el presente trabajo presentará la evaluación post ocupacional del ambiente visual de la biblioteca de la Universidad de Mendoza (figura 1).

Desarrollo

En esta sección se describirán los procedimientos técnicos y métodos utilizados nuestro caso de estudio, la biblioteca central de la Universidad de Mendoza. La metodología consistió de las siguientes etapas; (i) medición de iluminancias (ii) toma de fotografía HDR (iii) cuestionario a usuarios (iv) medición temperatura de color. Estos procedimientos se realizaron un durante un día en el equinoccio de primavera, a las 9:00 hs, 13:00 hs y 17 hs. De este modo se tuvo una evaluación completa durante el horario de funcionamiento de la biblioteca.

(i) Para la medición de los niveles de iluminación se empleó el método de la cuadrícula variante AHRA – INAHE 2022. Esta guía recomienda una técnica de estudio fundamentada en una cuadrícula de puntos de medición que cubre toda la zona analizada. La base de esta técnica es la división del interior en varias áreas iguales, cada una de ellas idealmente cuadrada. Se mide la iluminancia existente en el centro de cada área a la altura de 0.8 metros sobre el nivel del suelo y se calcula un valor medio de iluminancia. En la precisión de la iluminancia media influye el número de puntos de medición utilizados. Existe una relación que permite calcular el número mínimos de puntos de medición a partir del valor del índice de local aplicable al interior analizado.

Para la medición se definieron cuatro áreas, las cuales se denominaron sala de lectura 1, 2, 3 y el pasillo o sector de circulación (figura 1).

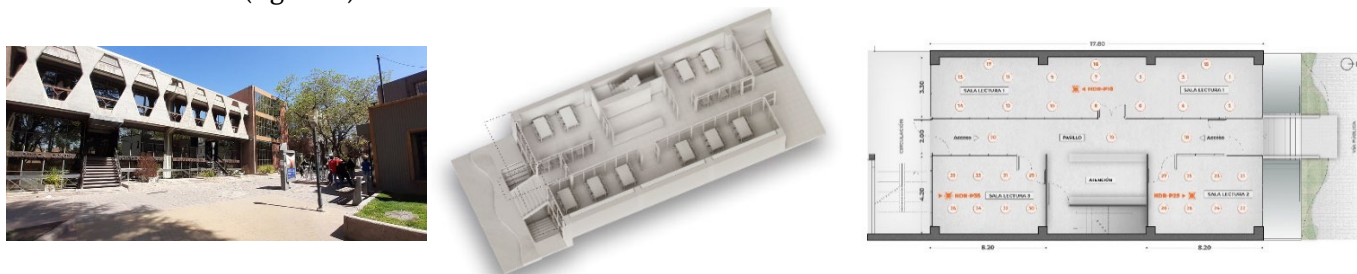


Figura 1: Izquierda foto fachada Biblioteca sede Universidad de Mendoza, centro axonométrica, derecha planta arquitectónica

Entre todas las salas el número de puntos a medir fueron 36, teniendo 3 mediciones que se realizan sobre las bibliotecas a 0,8 y a 1,6 metros corresponden a la iluminancia vertical. Se utilizó un luxómetro LMT Pocket-2 calibrado.

El método de la cuadrícula evalúa dos variables fundamentales:

✓ Nivel de iluminación promedio $E_m = \Sigma \text{valores medidos en lux} / \text{Cantidad de puntos medidos}$

✓ Uniformidad de la iluminación. Una vez obtenida la iluminancia media, se procede a verificar la uniformidad de la iluminancia, según lo requiere el Decreto 351/79 en su Anexo IV: $E_{\min} \geq E_m / 2$

Donde la iluminancia mínima (E_{\min}), es el menor valor detectado en la medición. Si se cumple con la relación, indica que la uniformidad de la iluminación está dentro de lo exigido en la legislación vigente. Es decir que, a los efectos de prever una buena distribución luminosa, se determina la llamada Uniformidad de la Iluminancia (U): $E_{\min} / E_{\text{media}}$.

Sobre cualquier área de trabajo y su entorno inmediato, la uniformidad no deberá ser inferior a 0,5. La U busca evitar los saltos bruscos de la luminancia para que éstos no se materialicen en molestias y accidentes de los trabajadores.

(ii) Toma de fotografía para el cálculo del índice de deslumbramiento fue calculado a partir de mapeos de luminancia obtenidos de las imágenes fotográficas de alto rango dinámico (HDR). Se componen a partir de 18 imágenes fotográficas de bajo rango dinámico (LDR) con diferentes exposiciones (30 segundos – 1/4000 segundos) cada un paso. Cada (LDR) fue obtenida con una cámara digital Nikon D610, 1 Lente Ojo de pez marca Sigma 8mm f/3.5 EX DG. Las imágenes fueron tomadas a la altura de los ojos del sujeto sentado, 1,20 metros, apuntando en cada caso como se ve en la planta arquitectónica (figura 1). Para que la información almacenada en las imágenes HDR se corresponda con los valores físicos de luminancia del mundo real, estas fueron calibradas con un luminancímetro “Minolta LS100”. El porcentaje de error del método HDR es menor a un 10% (Inanici, 2006). Las imágenes son procesadas en el programa PHOTOSPHERE, donde se calibran en base a las luminancias tomadas con el luminancímetro, por último, una vez calibrado el mapeo de L, se procesaron en Radiance con la herramienta Evalglare (Wienold & Christoffersen, (2006), según el tutorial (Pierson, Cauwerts, Bodart, & Wienold, 2021).

(iii) Cuestionario a usuarios para conocer la apreciación de los mismos respecto de la biblioteca, la evaluación subjetiva consta de una serie de consultas de diferenciales semánticos y preguntas de múltiple opción. La misma está dividida en: (1) Datos demográficos; (2) Satisfacción respecto de aspectos del lugar; (3) Opiniones sobre la apariencia del espacio; (4) Síntomas relacionados al medio ambiente lumínico; (5) Apreciación del tamaño y características de las ventanas; (6) Distribución y cantidad de la luz natural en los espacios; (7) Utilización de dispositivos de control solar (8) Para realizar la comparación subjetiva, se utilizó la escala Glare Sensation Vote (GSV) (Hopkinson, 1972) que estima la sensación de deslumbramiento por medio de una escala que va desde “apenas perceptible” hasta “apenas intolerable” en función del tiempo que la persona puede soportar esa sensación de discomfort.

(iv) Medición temperatura de color TCP, para esto se utilizó un colorímetro marca ILT modelo 350. Dicho equipo se posicionó en cada uno de los puestos donde se tomaron las fotografías. El mismo mide iluminancias, temperatura de color correlacionada TCP y Índice de reproducción cromática Ra.

Resultados

Esta sección está destinada a presentar los datos (cuantitativos y cualitativos) de las metodologías planteadas en el punto anterior.

(i) Los resultados de la iluminancia promedio y uniformidad de cada sala, en los distintos horarios fueron los siguientes, ver tabla 1. La uniformidad dio resultados nunca menores de 0,50 como lo requiere el Decreto 351/79 en su Anexo IV, ver tabla 1.

	9:00 hs a.m.		13:00 hs p.m.		17:00 hs p.m.	
	Eh 0.80 m	Uniformidad	Eh 0.80 m	Uniformidad	Eh 0.80 m	Uniformidad
		d		d		d
Sala lectura 1	192,66 lux	0,71	220,38 lux	0,50	206,11 lux	0,71
Sala lectura 2	155,62 lux	0,75	197,28 lux	0,65	189,45 lux	0,69
Sala lectura 3	166,02 lux	0,75	170,85 lux	0,65	189,21 lux	0,71
Área circulación	165,52 lux	0,82	183,83 lux	0,85	229,43 lux	0,69

Tabla 1. Resultados Eh y U.

(ii) Los resultados de las iluminancias promedio arrojadas en la sala 1, la única que posee bibliotecas.

Sala lectura 1	9:00 hs a.m.	13:00 hs p.m.	17:00 hs p.m.
Bibliotecas			
Ev Iluminancia Vertical 0.80	76,60 lux	94,44 lux	86,31 lux
Ev Iluminancia Vertical 1.60	58,23 lux	80,95 lux	79,33 lux

Tabla 2. Resultados Ev.

(iii) Se presentan las imágenes fotográficas de falso color (HDR), las cuales han sido procesada en PHOTOSPHERE. Se componen a partir de las imágenes fotográficas de bajo rango dinámico (LDR) y dan los mapeos de luminancias L que se muestran en la figura 3. Las mismas fueron tomadas una en cada sala como se indica en la figura 2, en tres momentos del día a las 9:00 hs, 13:00 hs y 17:00 hs. Ver figura 2.

P10-9:00 hs

P25-9:00 hs

P35-9:00 hs

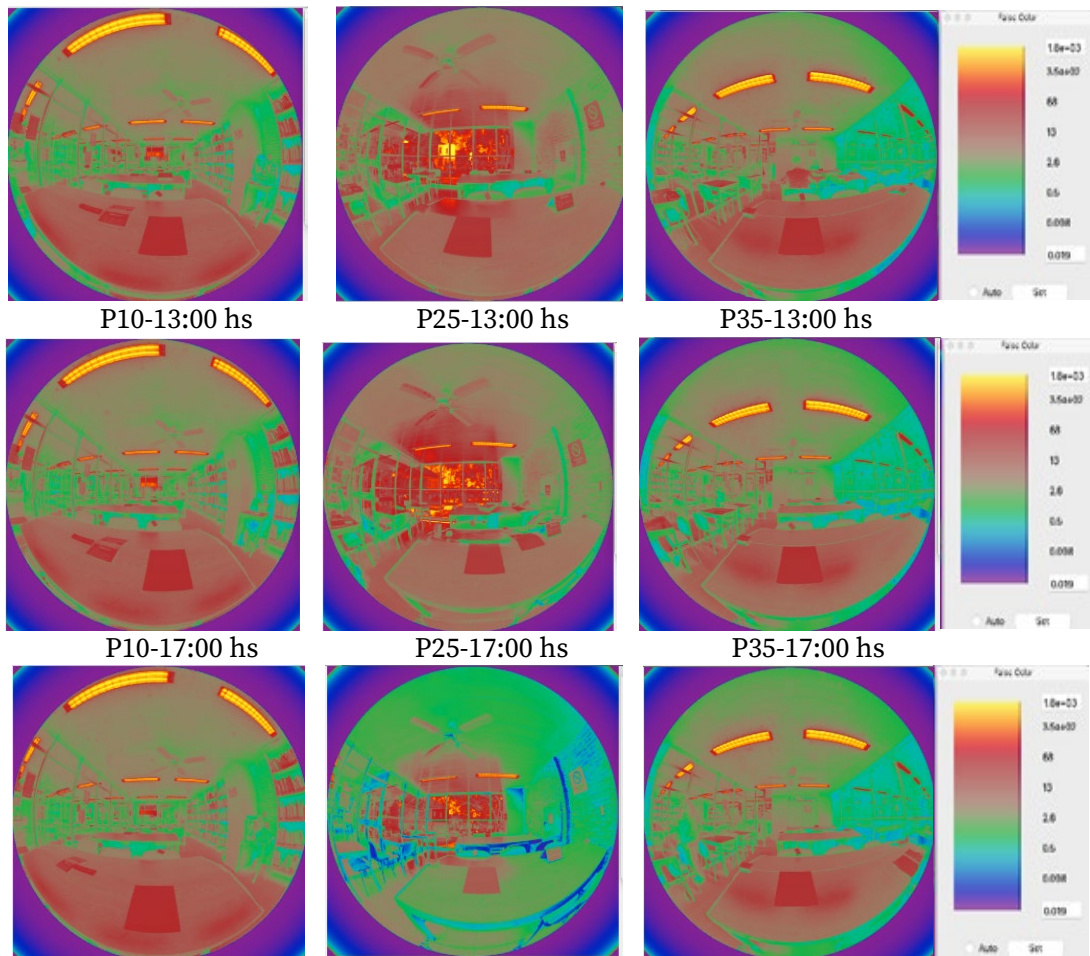
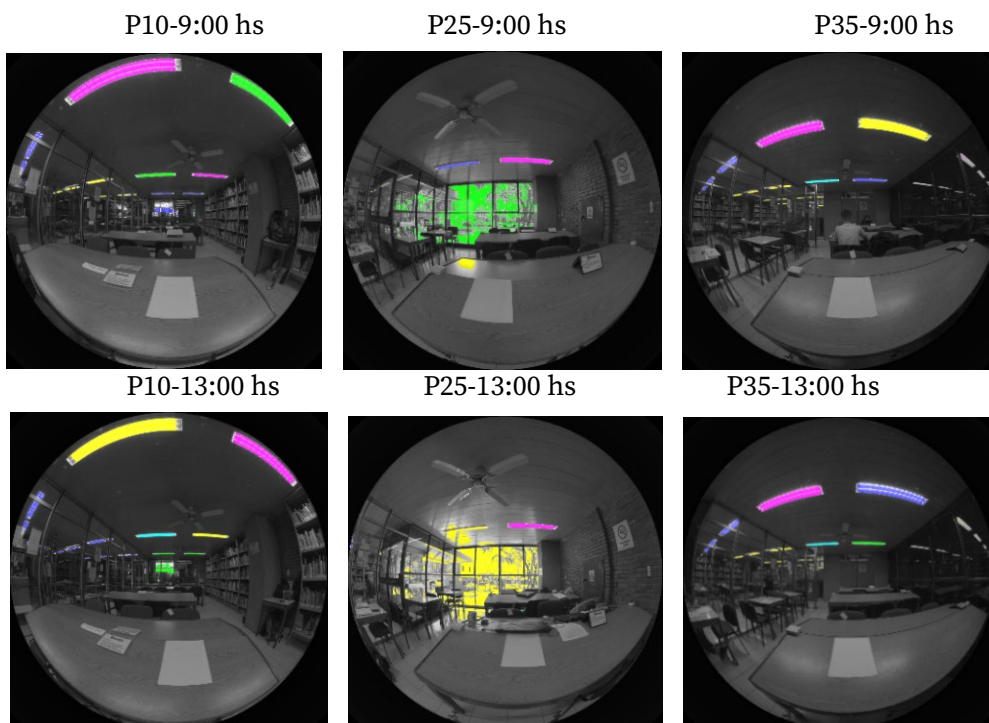


Figura 2. Mapeos de luminancia en falso color (HDR).

A continuación, se presentan las imágenes HDR las mismas fueron post-procesadas con el programa “Evalglare” (versión 1.21) desarrollado por Wienold, (2009). Esto nos permite obtener los índices de deslumbramiento. La imagen HDR_P10 correspondiente a las 13:00 hs muestra focos de deslumbramiento en las luminarias. Una de las metodologías para predecir el deslumbramiento es tomar los índices propuestos por Wienold, & Colaboradores (2019), donde se establecen parámetros en relación a la Iluminancias verticales E_v , donde para valores superiores a los 3359 lux se considera posible tener deslumbramiento (figura 3).



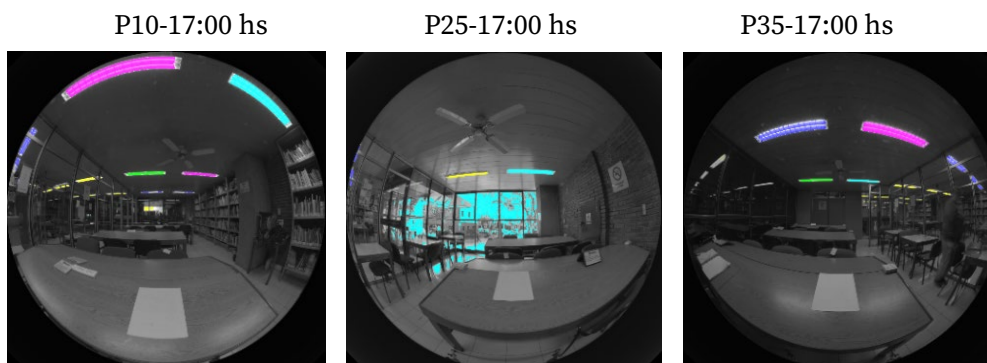


Figura 3. Imágenes fotográficas (HDR).

A continuación, se presentan los datos procesados con el programa “Evalglare” los cuáles arrojan los resultados mencionado en la tabla 3. Donde no superan los que indica la Normas Europeas 17037 Iluminación Natural en Edificios DGP 0.40, Norma Europea 12464 Iluminación en Lugares de trabajos UGR 19. Y los sugeridos según el trabajo de validación Wienold, & Colaboradores (2019), DGP 0.38 - UGR 25.6.

	9:00 hs a.m		13:00 hs p.m.		17:00 hs p.m.	
	DGP	UGR	DGP	UGR	DGP	UGR
Sala de lectura 1_P10	0.03	15.06	0.02	14.62	0.02	14.63
Sala de lectura 2_P25	0.03	21.35	0.03	19.68	0.02	17.25
Sala de lectura 3_P35	0.03	15.05	0.03	20.50	0.02	20.37

Tabla 3. Resultados Evalglare.

(iv) A continuación se muestran los resultados obtenidos en el cuestionario que se realizó a 5 usuarios de la biblioteca, 4 estudiantes y 1 bibliotecario. El promedio de edad es 26 años, quienes respondieron han sido mujeres, y suelen permanecer entre 2 y 5 horas en los espacios. Las luces del edificio están encendidas durante toda la jornada y son lámparas tubo LED 220-240 Vca – 50 Hz – 18W – 6500 K. Respecto de la satisfacción de diferentes aspectos de la biblioteca la mayor satisfacción es en aspecto relacionados con las vistas, ventanas, siendo menos satisfactorias las opiniones en relación al control de la iluminación y los reflejos molestos. La apariencia de la biblioteca para un 80% de los usuarios es que la misma es poco monótona o neutra, siendo solo para un 20% muy interesante. En síntomas relacionadas con el medio ambiente lumínico, solamente algunos usuarios respondieron tener dolor de cabeza o sentir picor en los ojos. La distribución de la luz natural tiene un 40% de opiniones que la consideran adecuada, siendo 20% muy adecuada, 20% algo adecuada y 20% apenas adecuada. Un 60% de los encuestados consideran suficiente la iluminación, 20 % excesiva y 20% apenas suficiente. Sobre el deslumbramiento en una escala que va del 1 al 5, siendo 5 la mayor sensación de deslumbramiento y 1 la ausencia de deslumbramiento, nada. Donde, respondieron un 40% sentirse en un número 4 (un número menos que la sensación máxima de deslumbramiento), 20% n°5 (prácticamente no perciben deslumbramiento), 20% n°3 (tiene una sensación intermedia). Además, está la opción de desconocer respecto del deslumbramiento, un 20% dijo no saber si percibe deslumbramiento.

(iv) La medición temperatura de color TCP con un colorímetro marca ILT modelo 350 arrojó valores que van desde los 3700 a los 6000 K. Siendo valores más altos los de la medición de las 17:00 hs p.m. donde es mayor la incidencia de la luz artificial sobre la natural.

Conclusiones

La metodología del trabajo demostró ser eficiente para conocer las condiciones de iluminación y permitir un diagnóstico de los espacios de la biblioteca. Los resultados obtenidos son desalentadores, debido a que los niveles de iluminación para las tareas que se desempeñan en una biblioteca no alcanzan los valores establecidos en la norma IRAM-AADL J 20-06). Siendo para el caso de la biblioteca, donde las tareas se consideran moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos, los niveles establecidos de 300 a 750 lux. Además, por considerarse dentro de los trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo. En ninguna de las salas de lectura se llega a estos valores, siendo el menor valor 155,62 lux y el máximo 229,43 lux. Las iluminancias verticales nos superan los 3359 lux (Wienold, & Colaboradores 2019) por lo que no

se considera que exista posibilidad de deslumbramiento. Tampoco se llegan a los valores que determinan al deslumbramiento como notable/perturbador.

En el proceso se realizaron mediciones en cuatro momentos del año, equinoccio de septiembre, marzo y solsticios de diciembre y junio. En próximos trabajos y hacia la escritura de la tesis se presentarán estos resultados. Así como también la evaluación de los aspectos circadianos a futuro, ya que se está trabajando en una herramienta que permita validar la información recolectada a través del uso de actígrafos por parte de los usuarios de la biblioteca.

Referencias

- Hopkinson, R.G., 1972. Glare from daylighting in buildings. *Appl. Ergonom.* 3 (1), 206–215.
- Inanici, M. N. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research & Technology*, 38(2), 123-134.
- Khoshbakht M, Gou Z, Lu Y, Xie X, Zhang J. Are green buildings more satisfactory? A review of global evidence. *Habitat Int.* 2018;74:57-65.
- Pattini, A. E., Rodríguez, R. G., Lasagno, C. M., Villalba, A. M., Corica, M. L., & Ferron, L. M. (2009). Evaluación de deslumbramiento en edificios con iluminación natural en climas soleados: El caso de una biblioteca con techo vidriado.
- Pierson, C., Cauwerts, C., Bodart, M., & Wienold, J. (2021). Tutorial: luminance maps for daylighting studies from high dynamic range photography. *Leukos*, 17(2), 140-169.
- Ruiz, V. J., Rodríguez, R. G., Paviglianiti Labiano, V. D., & Pattini, A. E. (2022). Consenso de expertos para la selección de indicadores de iluminación integradora: Resultados etapa I.
- Schlangen, L. J. (2019). CIE position statement on non-visual effects of light: recommending proper light at the proper time.
- Variante AHRA – INAHE (2022). Iluminación en el Ambiente Laboral.
- Vetter C, Pattison PM, Houser K, Herf M, Phillips AJ, Wright KP, et al. A review of human physiological responses to light: implications for the development of integrative lighting solutions. *Leukos*. 2022;18(3):387-414.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings*, 38(7), 743-757.
- Wienold, J. (2009). Dynamic daylight glare evaluation.
- Wienold, J., Iwata, T., Sarey Khanie, M., Erell, E., Kaftan, E., Rodríguez, R. G., ... & Andersen, M. (2019). Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. *Lighting Research & Technology*, 51(7), 983-1013.