



# Cálculo de la luz circadiana efectiva en el personal médico durante una guardia gineco-obstétrica: estudio de campo

Paviglianiti Valeria D. – Rodríguez Roberto G. – Pattini Andrea E.

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía – CONICET – Mendoza, Argentina  
vpaviglianiti@mendoza-conicet.gob.ar

**Resumen:** La luz que incide en los ojos influye en los ritmos circadianos, y produce efectos sobre la salud y el bienestar. El objetivo del trabajo es cuantificar la luz circadiana efectiva en el personal médico durante una guardia de doce horas (8 am-8 pm) en un consultorio gineco-obstétrico ubicado en un hospital de Godoy Cruz, Mendoza. El estudio ejercita un método de medición y cálculo para aplicar en posteriores trabajos. La metodología incluyó el relevamiento in situ en condiciones habituales de trabajo de la iluminancia vertical y la distribución de potencia espectral (SPD) a la altura los ojos en tres puntos de medición en dos puestos de trabajo. Las mediciones se realizaron un día de invierno del 2023 a las 9 am, 1 pm, 6 pm y 8 pm. Posteriormente se calcularon las métricas Circadian Stimulus (CS), Equivalent Melanopic Lux (EML) y Melanopic Equivalent Daylight Illuminance [m-EDI(D65)] con las aplicaciones Irradiance Toolbox y CS calculator (2.0). Los resultados se compararon con los parámetros del estándar WELL V1- Característica 54-1.a. y UL DG 24480. Los valores no cumplen con los requisitos de WELL y parcialmente con las solicitudes de la guía. El método resultó adecuado para ser aplicado en próximos estudios.

**Palabras claves:** Ritmo circadiano - Cálculo- Trabajadores de la salud

**Abstract:** The light reaching the eyes influences circadian rhythms, and produces effects on health and wellness. The objective of this study is to quantify the effective circadian light in healthcare workers during a twelve-hour shift (8 am-8 pm) in a medical guard located in Godoy Cruz, Mendoza. The study exercises a method of measurement and calculation to be applied in further work. The methodology included the in situ survey of vertical illuminance and spectral power distribution (SPD) at the eyes level in three measurement points for two workstations, under their usual working conditions. Measurements were taken on a winter day in 2023 at 9 am, 1 pm, 6 pm and 8 pm. Subsequently, Circadian Stimulus (CS), Equivalent Melanopic Lux (EML) y Melanopic Equivalent Daylight Illuminance [m-EDI(D65)] metrics were calculated with the Irradiance Toolbox and CS calculators (2.0). The results were compared with the parameters of the WELL V1- Characteristic 54-1. a. standard and UL DG 24480. The values do not meet the WELL requirements and partially meet the guide requests. The method proved to be suitable for application in further studies.

**Palabras claves:** Circadian Rhythms - Calculation - Healthcare workers

## I. INTRODUCCION

La luz que incide en los ojos genera efectos sobre nuestra salud y bienestar, ya que establece la hora de nuestro reloj biológico y facilita la sincronización con la hora local [1]. Los estudios demuestran que la luz influye en los ritmos circadianos interactuando a través de: el espectro [2,3,4,5], la intensidad [6], la duración de la exposición [7], el momento [8] y la distribución espacial [9,10,11,12]. Las investigaciones han demostrado que los niveles más altos de luz durante el día, incluida la exposición a la luz diurna, se asocian con un mejor sueño y estado de ánimo en los trabajadores de oficina [13]. En 2007 Roenneberg y Mellow [14] enunciaron que la exposición a la luz diurna durante al menos dos horas garantiza la sincronización circadiana. En la actualidad, las personas pasan la mayor parte de su tiempo en interiores [15], por ello existe la preocupación de que una exposición limitada a la luz diurna pueda alterar los ciclos circadianos.

Los trabajadores de la salud componen una gran proporción de los trabajadores por turnos. Por otro lado, la satisfacción del personal y el confort visual son importantes para la calidad de la atención médica [16, 17, 18, 19]. Además, la iluminación puede afectar el desempeño del personal [20], la productividad, el desempeño visual, el estado de alerta [21], el riesgo de errores médicos y satisfacción con su lugar de

trabajo [22]. En la última década, la importancia del tema ha aumentado y ha generado la creación de normas y guías que solicitan para su cumplimiento una exposición de luz adecuada, tal como Well Building Standard [23], lanzada en 2014, y en 2019 la guía de Underwriters Laboratories (UL) Design Guideline (DG) 24480 [24]. Este estudio pretende ejercitar un método para cuantificar el efecto circadiano de la luz, natural y eléctrica, en el personal médico durante una guardia de doce horas (8 am-8 pm) en un consultorio gineco-obstétrico ubicado en un hospital de Godoy Cruz, Mendoza, a través del relevamiento in situ de la iluminancia vertical ( $E_v$ ) y la distribución de potencia espectral (SPD) a la altura de los ojos en diferentes momentos del día desde las 9 am a 8 pm. Posteriormente se realizó el cálculo de las métricas EML, m-EDI(D65) y CS con dos aplicaciones: Irradiance Toolbox y CS calculator (2.0). Los resultados se compararon con los parámetros propuestos por las normas.

## II. METODOLOGÍA

En este estudio se midieron la iluminancia horizontal ( $E_h$ ), la iluminancia vertical ( $E_v$ ) y la distribución de potencia espectral ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) a la altura de los ojos del profesional en los puestos de trabajo; en condiciones habituales de ocupación, con las cortinas levantadas 2/3 de la ventana y todas las luces eléctricas encendidas. Las mediciones se realizaron a las 9 am, 1 pm, 6 pm y 8 pm un día de invierno del 2023 de forma instantánea en tres puntos de muestreo en dos puestos de trabajo (escritorio - camilla ginecológica), en una sola dirección de observación debido a que el tiempo disponible era limitado. La medición de la iluminancia horizontal se relevó como un indicador que las normas contienen pero no fue utilizado para el cálculo de la luz circadiana efectiva. Los instrumentos utilizados fueron un espectrómetro modelo AvaSpec- ULS2048CL-EVO-RS-UA, una notebook Lenovo T15 G1 con el software Avasoft-full y un luxómetro LMT Pocket-2. Los registros se tomaron a 1.20 m sobre el suelo en el escritorio y a los pies de la camilla, y a 1.60 m en el lateral accesible de la camilla.

El consultorio de guardia, que se observa en la figura 1, tiene una superficie de  $11.95 \text{ m}^2$ , se ubica en planta baja e ilumina-ventila a un patio interior de dos pisos. El aventanamiento es el 35.14% de la superficie del local. Las ventanas están orientadas al Oeste y su transmitancia visible es de 0.64. La protección solar interior está compuesta por cortinas rollers translúcidas de PVC color natural. Las paredes tienen una reflectancia de 0.79 y 0.67, el techo de 0.85 y el piso de 0.55. La iluminación artificial es de tipo general y se compone de tres plafones LED embutidos en el cielorraso suspendido marca ALIC de 4800 lm, 48 W, CCT 6500 K.

El clima se registró al momento de cada medición por medio de la aplicación meteorológica "Clima versión 1.102.447.01.0" y a través de una foto del cielo desde el patio.

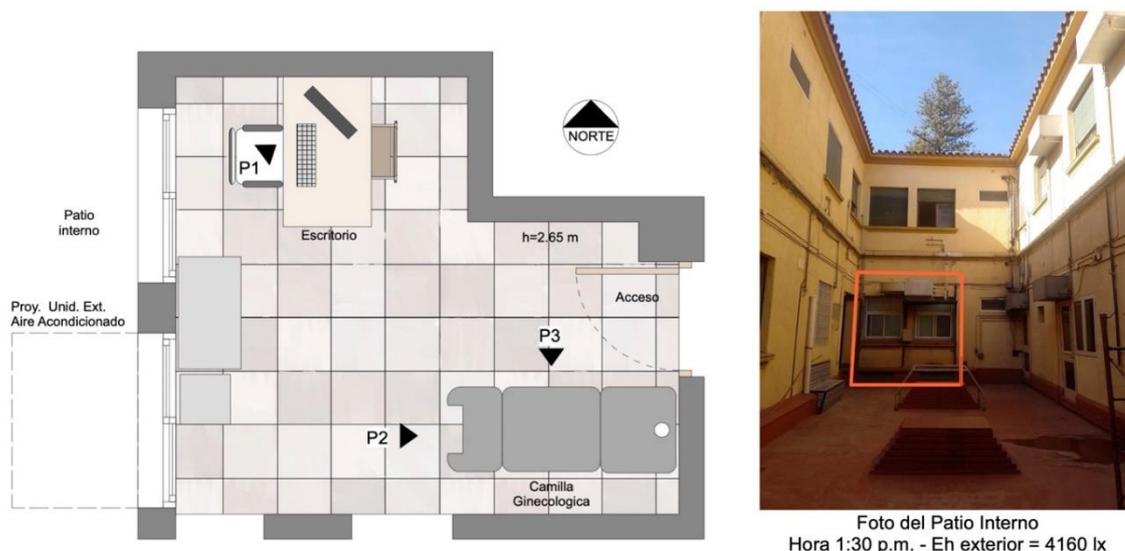


Fig. 1: planta arquitectónica del consultorio e imagen del patio interior de iluminación-ventilación

### A. Cálculo de los efectos circadianos de la iluminación

Las métricas, Circadian Stimulus (CS), Equivalent Melanopic Lux (EML) y Melanopic Equivalent Daylight Illuminance [m-EDI(D65)], se utilizaron para calcular los efectos circadianos de la exposición a la luz experimentada en el consultorio. La evaluación se realizó con la aplicación Irradiance Toolbox de Lucas et al. (<https://lucasgroup.lab.manchester.ac.uk/measuringmelanopicillumiance/>) y CS calculator (2.0) del

Light and Health Research Center (<https://cscalculator.light-health.org/>). En las calculadoras se añadieron los datos de la fuente de forma personalizada donde se introdujo la distribución de potencia espectral medida cada 1 nm, junto con la iluminancia vertical relevada en cada punto de medición por puesto de trabajo. Luego se promediaron los resultados de los tres puntos de medición medidos en cada turno y se definió el estímulo circadiano generado en esa hora. Los valores de CS y m-EDI(D65) fueron aportados por CS calculator (2.0) y EML por Irradiance Toolbox. Posteriormente se compararon los valores con los solicitados por el estándar WELL V1, característica 54 - 1.a. [23] y la UL DG 24480 [24].

Los cálculos de los efectos circadianos de la iluminación se basaron en las siguientes modelos:

#### A.1. Circadian Stimulus (CS)

El modelo matemático de fototransducción circadiana humana desarrollado por Rea et al. [25] tiene en cuenta la participación de las células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensibles (ipRGC), así como de los bastones y los conos, incluida la oponente espectral, en la capa plexiforme externa de la retina. En lugar de modelar las cinco funciones de sensibilidad espectral diferentes -una para cada tipo de fotorreceptor- el CS cuantifica el efecto circadiano total de la luz [26]. Este modelo permite cuantificar CS, expresado como un porcentaje que varía desde la activación de la supresión de melatonina (0%) hasta su saturación por efecto de la luz percibida (70%). [27]

Dada la distribución de potencia espectral, CS puede calcularse con las ecuaciones (1) y (2):

$$CS = 0,7 - \frac{0,7}{1 + \left(\frac{CL_A}{355,7}\right)^{1,1026}} \quad (1)$$

$$CL_A = \left\{ 1548 \left[ \int M_{C\lambda} E_{\lambda} d_{\lambda} + \left( a_{b-y} \left( \int \frac{S_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d_{\lambda} - K \int \frac{V_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d_{\lambda} \right) - a_{rod} \left( 1 - e^{-\frac{\int V'_{\lambda} E_{\lambda} d_{\lambda}}{RodSat}} \right) \right) \right] \right\} \quad (2)$$

$$if \int \frac{S_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d_{\lambda} - K \int \frac{V_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d_{\lambda} \geq 0$$

$$1548 \int M_{C\lambda} E_{\lambda} d_{\lambda}, \quad if \int \frac{S_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d_{\lambda} - k \int \frac{V_{\lambda}}{mp_{\lambda}} E_{\lambda} d_{\lambda} < 0$$

donde  $CL_A$  es la luz circadiana, CS es el estímulo circadiano,  $E_{\lambda}$  distribución de la irradiancia espectral de la fuente luminosa,  $M_{C\lambda}$  es la sensibilidad de la melanopsina [28],  $S_{\lambda}$  es la fundamental del cono S [29],  $mp_{\lambda}$  es la transmitancia del pigmento macular,  $V_{\lambda}$  es la función de eficiencia luminosa fótica [30],  $V'_{\lambda}$  es la función de eficiencia luminosa escotópica [30],  $RodSat$  es la constante de saturación media para el blanqueamiento de los bastones igual a  $6.5 \text{ W/m}^2$ ,  $k$  es igual a 0.2616 [31],  $a_{b-y}$  es igual a 0.7 [31], y  $a_{rod}$  es igual a 3.3 [31].

#### A.2. Equivalent Melanopic Lux (EML)

Equivalent Melanopic Lux (EML) es una métrica circadiana introducida por Lucas et al. [32]. En el cálculo de EML, la luz se pondera por el espectro de acción de los fotopigmentos llamados melanopsina en las ipRGC. No refleja las modificaciones de las ipRGC por los bastones o los conos [32-33]. Lucas proporcionó una caja de herramientas basada en Excel [34] que se puede utilizar para calcular la iluminancia "α-ópica" para cada uno de los cinco fotopigmentos del ojo humano para cualquier espectro de luz.

EML puede calcularse mediante las ecuaciones (3) y (4)

$$EML = R \times L \quad (3)$$

$$R = \frac{\text{Irradiancia Melanopica}}{\text{Irradiancia fótica}} \times 1,218 \quad (4)$$

Donde EML es el Lux Melanopico Equivalente y L la Iluminancia. La constante 1.218 se denomina constante de igual energía. R es la relación entre la irradiancia ponderada por la función de sensibilidad espectral circadiana y la irradiancia ponderada por la función de sensibilidad espectral fótica, multiplicada por una constante. La constante garantiza que la iluminancia melanópica sea equivalente a la iluminancia fótica para un radiador teórico de igual energía.

### A.3. Melanopic Equivalent Daylight Illuminance [*m-EDI(D65)*]

Como enuncian Li et al. (2022) “la métrica *m-EDI(D65)*, recomendada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) también se basa en el espectro de absorción de la melanopsina y así, comparte la metodología fundamental con EML. La única diferencia es que la magnitud *m-EDI(D65)* se expresa como la cantidad del iluminante estándar CIE D65 que proporciona el mismo estímulo a las ipRGC. Así, el valor *m-EDI(D65)* puede convertirse a partir del valor EML multiplicando un coeficiente de 0.9063.” [35]

La relación entre *m-EDI(D65)* y EML es:

$$m - EDI(D65) = 0,9058 EML \quad (5)$$

### A.4. Uso de la calculadora Irradiance Toolbox

La aplicación calcula la iluminancia efectiva de cada uno de los cinco fotopigmentos del ojo humano, a partir de información proporcionada por el usuario. La hoja de cálculo permite la introducción de datos solo en las celdas de color azul que están desbloqueadas. En el estudio, la carga de datos consistió, en primer lugar, en seleccionar en la pestaña desplegable “select mode” la opción “1 nm spectral data”, ya que es el modo “exacto” en el que se midió SPD. Al seleccionar esta opción no es necesario colocar datos en el apartado “Details of light measurement” ya que esta entrada se utiliza solamente para el modo “aproximado”. La pestaña “For blackbody or narrowband sources” solo se utiliza si se selecciona una fuente de luz de banda estrecha o de cuerpo negro. Posteriormente se cargaron los datos de distribución de potencia espectral ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) en el rango de 380-780 nm en la columna “Input for user defined measurements”. El dato de la sección “Photopic Illuminance” ( $E_v$  a la altura de los ojos) es proporcionado por el cálculo debido a la carga de los valores de irradiancia espectral. Como resultado la calculadora aporta valores de iluminancia “ $\alpha$ -ópica” para cada uno de los cinco fotopigmentos en la sección “Human retinal photopigment complement”. El valor de la métrica EML corresponde al resultado del fotopigmento  $\alpha$ -opic lux “Melanopic”.

### A.5. Uso de la calculadora CS calculators (2.0)

CS Calculator (2.0) cuantifica la radiación óptica incidente en la retina humana en términos de  $CL_A$  2.0 y CS. La aplicación permite agregar una fuente personalizada en la lista “Source List” a través de la pestaña “Add Custom Source” donde se ingresan los valores de distribución de potencia espectral en el apartado SPD, en una columna la longitud de onda y en la otra el valor medido. Posteriormente se selecciona la fuente cargada, y a continuación la aplicación solicita cargar la iluminancia vertical relevada en la pestaña “Calculate via illuminance (lx)”. Los resultados se observan en un cuadro inferior titulado “Metrics”, donde se examinan a parte del valor de CS,  $CL_A$  2.0 y *m-EDI(D65)*, la cromaticidad, la temperatura de color correlacionada (CCT), el índice de reproducción cromática (CRI), el índice de área de gama (GAI) y la irradiancia CIE  $\alpha$ -opic, que se determinan a partir de las mismas distribuciones de potencia espectral relativa. Por último la aplicación enuncia el tiempo necesario de exposición para alcanzar la luz circadiana recomendada ( $CS_d$ ) de acuerdo a los parámetros de la UL DG 24480.

## B. Las normas y guías

Los resultados se compararon con las solicitudes de intensidad luminosa melanópica para zonas de trabajo del estándar WELL V1, característica 54, 1.a. [23] y la UL DG 24480 [24].

El estándar WELL fundamenta el cálculo en el modelo de Lucas et al. [32]. Las mediciones de la característica 54, parte 1.a., de WELL V1 incluyen la contribución de la luz diurna. Actualmente el organismo ha avanzado a la versión V2 pero se decidió trabajar con la versión anterior debido a que ésta no incorpora en el concepto el aporte de la luz diurna. El parámetro 1.a. solicita que en el 75% o más de los puestos de trabajo, haya al menos 200 EML [182 *m-EDI(D65)*], medidos en el plano vertical orientado hacia adelante, a 1.2 m del suelo, durante al menos las horas comprendidas entre las 9 am y la 1 pm durante todos los días del año.

En 2019 UL publicó la DG 24480, que se puede ver de forma gratuita en su pagina internet (<http://www.shopULstandards.com/>). La guía presenta una serie de pautas para promover el arrastre circadiano con luz para personas activas durante el día. La métrica de referencia es Circadian Stimulus (CS) basada en el modelo de Rea et al [25]. Como enuncia la directriz, está dirigida exclusivamente a los sistemas de iluminación eléctrica y las recomendaciones no se aplican a las personas que trabajan por turnos. El documento estipula que el ocupante debe recibir continuamente una cantidad de luz circadiana efectiva en los ojos equivalente a  $CS \geq 0,30$  durante dos horas, idealmente por la mañana, que equivale a una supresión nocturna de la melatonina de al menos el 30%. Esta exposición a la luz diurna se define como la dosis de luz circadiana efectiva. Funcionalmente, han proporcionado una dosis de luz circadiana recomendada ( $CS_d$ ) de 0.43. Por otro lado la guía plantea, para colaborar con las instituciones y el

mantenimiento de la sincronización circadiana mediante exposiciones de luz diurna, que la duración de la exposición puede establecerse dentro de los límites de duración de 0.5 a 3 horas. Además, ofrece criterios secundarios de diseño de iluminación para los edificios ocupados durante el período de transición del día a la noche. Por ejemplo, si el espacio iluminado se ocupa después de las 4 pm, podrían aplicarse las siguientes directrices para garantizar la adaptación circadiana: por la tarde, entre las 5 pm y las 7 pm, los niveles de luz circadiana efectiva nunca deben ser superiores a los que suprimen la melatonina nocturna en un 20% (CS =0.20). Después de las 8 pm, los niveles de luz circadiana efectiva nunca deben ser superiores en un 10% (CS=0.10). Para evitar transiciones bruscas en el nivel de luz (o espectro) que puedan ser percibidas y molestas para los ocupantes, se recomienda que la tasa de cambio no sea superior al 5% por segundo [36].

### III. RESULTADOS

El relevamiento se realizó en un total de tres turnos, que suman 12 mediciones. Los datos meteorológicos indicaron a las 9 am un cielo con nubes dispersas y entre la 1 pm- 8 pm un cielo claro. La tabla 1 muestra los valores de la iluminancia recibidos por el ojo del observador ( $E_v$ ) y los resultados del cálculo del estímulo circadiano en las diferentes métricas seleccionadas: EML, m-EDI(D65)] y CS. El resultado por turno se calculó como el promedio de los valores de los tres puntos de medidos.

TABLA 1. Valores promedio por turno

Hora	Punto	Ev (lx)	EML	m-EDI	CS
9 am	P1	189.20	187.10	169	0.28
	P2	160.76	157.44	142	0.24
	P3	143.91	137.28	123	0.22
	Promedio		160.61	145	0.25
1 pm	P1	217.43	211.93	191	0.30
	P2	182.58	174.88	158	0.26
	P3	158.40	146.94	133	0.23
	Promedio		177.92	161	0.26
6 pm	P1	173.40	172.90	156	0.26
	P2	155.37	152.57	138	0.24
	P3	160.97	154.62	139	0.24
	Promedio		160.03	144	0.25
8 pm	P1	200.14	199.26	180	0.29
	P2	165.10	162.93	147	0.25
	P3	136.97	130.58	117	0.21
	Promedio		164.26	148	0.25

Los resultados evidencian que el aporte de la luz natural en la luz circadiana efectiva promedio durante el día (9 am -1 pm- 6 pm) es 1.15% mayor con respecto a la noche, por lo que predomina la luz artificial. Al mediodía se produce un aporte de la luz natural del 7.67 % con respecto a la noche.

La comparación de los valores relevados de luz circadiana efectiva durante un día de invierno de acuerdo a lo solicitado por el estándar WELL V1- Característica 54-1.a. para espacios con luz de día son insuficientes para estimular el organismo, como se muestra en la tabla 1, debido a que la norma solicita 200 EML [182 m-EDI(D65)] en el 75% de los puestos de trabajo entre las 9 am -1 pm, y en el caso de estudio sólo un puesto de trabajo a la 1 pm cumple con el valor (P1= 211,93 EML), y el resto de los valores están por debajo de la norma.

La CS calculator (2.0) indica que según UL DG 24480 el punto P1 es el puesto de trabajo que demanda menor duración de exposición para conseguir una luz circadiana recomendada ( $CS_d$ ) de 0.43, seguido por el punto P2, y el punto P3 necesitaría aumentar el nivel de iluminancia para lograr valores aceptables. Según la aplicación, un valor CS de 0.25 necesitaría una duración de exposición aproximada de 2.6 horas para alcanzar una dosis de  $CS_d$  de 0.43, por lo que se logra la estimulación en una mayor cantidad de tiempo de exposición. En cuanto a los criterios secundarios para espacios que transicionan entre el día y la noche, los niveles relevados no disminuyen hacia la tarde, manteniéndose el promedio de CS a 0.25 en la medición de las 6 pm – 8 pm, siendo que la guía recomienda que los valores no superen CS 0.20 para lograr el aumento de melatonina durante la noche.

### IV. CONCLUSIONES

Como se ha enunciado a lo largo del artículo, los beneficios de lograr una ambiente iluminado de forma saludable son numerosos. A través de este proceso, se propuso conocer las herramientas de cálculo mas utilizadas para cuantificar la luz circadiana efectiva y así, poder calcular el estímulo en los profesionales de la salud dentro de un consultorio de guardia gineco-obstétrica, con el objetivo de estudiarla durante un año. La finalidad de los diseñadores de iluminación es lograr una correcta

Iluminación de las tareas y beneficiar el arrastre circadiano. La tarea visual de diagnóstico y tratamiento requiere niveles de iluminancia adecuados, un diseño que evite sombras, alta reproducción cromática y una temperatura de color específica [37], por otro lado la atención en la guardia les exige a los profesionales un diagnóstico rápido y trabajo continuo durante doce horas.

El caso de estudio analizado fue seleccionado para poder comparar los resultados de las métricas EML, m-EDI(D65) y CS con los valores mínimos recomendados por el estándar WELL y la guía UL DG 24480 ya que el turno diurno que realizan los profesionales en ese hospital es de doce horas (8 am- 8 pm) y las recomendaciones actuales para los trabajos nocturnos y por turnos aún no están maduras [38]. Los resultados indican que el consultorio no cumple con los requisitos del estándar WELL V1- Característica 54- 1.a., y con respecto a los requerimientos de la guía los valores logran el CS necesario por la mañana al promediar los valores de los tres puntos de medición, pero durante la tarde- noche al no disminuir el nivel del estímulo se produciría un retraso en la secreción de melatonina. Por otro lado, no podemos definir que métrica es más precisa pero a nuestro criterio la guía UL DG 24480 que utiliza la métrica CS es la mas amigable con los requerimientos ya que permite contabilizar el estímulo circadiano durante una mayor cantidad de tiempo.

El trabajo presenta algunas limitaciones porque analiza solamente un día del año, por lo que los efectos circadianos en el resto pueden ser diferentes. Por otro lado, las mediciones se realizaron por turno y no de forma continua. En el futuro se propone incorporar un actígrafo para registrar el estímulo de forma continua y analizar el tiempo de ocupación del médico en el consultorio durante la guardia, para conocer la cantidad de tiempo real de incidencia del estímulo.

El bajo aporte de la luz natural sugiere que se debe prestarle mayor atención al diseño arquitectónico. Hay que tener en cuenta que el hospital fue inaugurado en 1939 y ha sufrido varias modificaciones. En el puesto de trabajo P1, próximo a la ventana, se calcularon los mayores niveles de luz circadiana efectiva. Se observan diferentes formas de mejorar el aporte de luz natural, como por ejemplo aumentar las reflectancias del patio interior (Paredes 0.84 – Piso 0.36) y trasladar la unidad exterior de aire acondicionado que se ubica sobre una de las ventanas. Otra mejora posible podría ser aumentar el tamaño de las ventanas. Por otro lado un control dinámico de la iluminación eléctrica permitiría lograr los niveles necesarios, sobre todo en espacios como este, donde el aporte de la iluminación natural no es suficiente para promover un ritmo circadiano adecuado.

## V. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Ing. Emanuel Schumacher, miembro del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía – CONICET, durante las mediciones en el consultorio.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Figueiro, M. G., Nagare, R., & Price, L. L. A. (2018). Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. *Lighting Research & Technology*, 50(1), 38-62.
- [2] Berson, D.M.; Dunn, F.A.; Takao, M. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science* 2002, 295, 1070-1073.
- [3] Dacey, D.M.; Liao, H.-W.; Peterson, B.B.; Robinson, F.R.; Smith, V.C.; Pokorny, J.; Yau, K.-W.; Gamlin, P.D. Melanopsin-Expressing Ganglion Cells in Primate Retina Signal Colour and Irradiance and Project to the LGN. *Nature* 2005, 433, 749-754.
- [4] Gamlin, P. D., McDougal, D. H., Pokorny, J., Smith, V. C., Yau, K. W., & Dacey, D. M. (2007). Human and macaque pupil responses driven by melanopsin-containing retinal ganglion cells. *Vision research*, 47(7), 946-954.
- [5] Lucas, R. J., Freedman, M. S., Munoz, M., Garcia-Fernandez, J. M., & Foster, R. G. (1999). Regulation of the mammalian pineal by non-rod, non-cone, ocular photoreceptors. *Science*, 284(5413), 505-507
- [6] McIntyre, I.M.; Norman, T.R.; Burrows, G.D.; Armstrong, S.M. Human Melatonin Suppression by Light Is Intensity Dependent. *J. Pineal Res.* 1989, 6, 149-156. [CrossRef]
- [7] McIntyre, I.M.; Norman, T.R.; Burrows, G.D.; Armstrong, S.M. Quantal Melatonin Suppression by Exposure to Low Intensity Light in Man. *Life Sci.* 1989, 45, 327-332.
- [8] Hébert, M.; Martin, S.K.; Lee, C.; Eastman, C.I. The Effects of Prior Light History on the Suppression of Melatonin by Light in Humans. *J. Pineal Res.* 2002, 33, 198-203. [CrossRef]
- [9] Rüger, M.; Gordijn, M.C.M.; Beersma, D.G.M.; de Vries, B.; Daan, S. Nasal versus Temporal Illumination of the Human Retina: Effects on Core Body Temperature, Melatonin, and Circadian Phase. *J. Biol. Rhythm.* 2005, 20, 60–70. [CrossRef]
- [10] Glickman, G.; Hanifin, J.P.; Rollag, M.D.; Wang, J.; Cooper, H.; Brainard, G.C. Inferior Retinal Light Exposure Is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppressing Melatonin in Humans. *J. Biol. Rhythm.* 2003, 18, 71-79. [CrossRef]

- [11] Visser, E. K., Beersma, D. G., & Daan, S. (1999). Melatonin suppression by light in humans is maximal when the nasal part of the retina is illuminated. *Journal of biological rhythms*, 14(2), 116-121
- [12] Lasko, T.A.; Kripke, D.F.; Elliot, J.A. Melatonin Suppression by Illumination of Upper and Lower Visual Fields. *J. Biol. Rhythm.* 1999, 14, 122-125. [CrossRef]
- [13] Figueiro, M. G., Stevenson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C. M., Gonzales, K., ... & Rea, M. S. (2017). The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers. *Sleep Health*, 3(3), 204-215.
- [14] Roenneberg T and Merrow M , 2007, . Entrainment of the human circadian clock. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 72:29329-9)
- [15] L. Bellia, A. Pedace, and F. Fragiasso, "Indoor lighting quality: Effects of different wall colours," *Light. Res. Technol.* 49(1), 33-48 (2017).
- [16] X. Shen, H. Zhang, Y. Li, K. Qu, L. Zhao, G. Kong, W. Jia, Building a satisfactory indoor environment for healthcare facility occupants: a literature review, *Build. Environ.* 228 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109861>.
- [17] G. Newsham, J. Brand, C. Donnelly, J. Veitch, M. Aries, K. Charles, Linking indoor environment conditions to job satisfaction: a field study, *Build. Res. Inf.* 37 (2009) 129-147, <https://doi.org/10.1080/09613210802710298>.
- [18] D. Applebaum, S. Fowler, N. Fiedler, O. Osinubi, M. Robson, The impact of environmental factors on nursing stress, job satisfaction, and turnover intention, *J. Nurs. Adm.* 40 (2010) 323-328, <https://doi.org/10.1097/NNA.0b013e3181e9393b>.
- [19] K. Hadi, J.R. DuBose, E. Ryherd, Lighting and nurses at medical-surgical units: impact of lighting conditions on nurses' performance and satisfaction, *Health Environ. Res. Des. J.* 9 (2016) 17-30, <https://doi.org/10.1177/1937586715603194>.
- [20] Dianat, I., Sedghi, A., Bagherzade, J., Jafarabadi, M. A., & Stedmon, A. W. (2013). Objective and subjective assessments of lighting in a hospital setting: implications for health, safety and performance. *Ergonomics*, 56(10), 1535-1545.
- [21] M.G. Figueiro, D. Pedler, Red light: a novel, non-pharmacological intervention to promote alertness in shift workers, *J. Saf. Res.* 74 (2020) 169, <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2020.06.003>.
- [22] K.Freihoefer,D.Guerin,C.Martin,H.Y.Kim,J.K.Brigham,Occupants'satisfaction with, and physical readings of, thermal, acoustic, and lighting conditions of sustainable office workspaces, *Indoor Built Environ.* 24 (2015) 457-472, <https://doi.org/10.1177/1420326X13514595>.
- [23] Well Building Standard (<https://www.wellcertified.com/>)
- [24] UL Design Guideline 24480 (<https://www.ul.com/news/ul-publishes-lighting-design-guideline-circadian-entrainment>)
- [25] Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bullough, J. D., & Bierman, A. (2005). A model of phototransduction by the human circadian system. *Brain Research Reviews*, 50(2), 213-228.
- [26] Lu, Y., Hu, W., & Davis, W. (2021). The Calculated Circadian Effects of Light Exposure from Commuting. *Applied Sciences*, 11(24), 11846.
- [27] Konis, K. (2018). Field evaluation of the circadian stimulus potential of daylit and non-daylit spaces in dementia care facilities. *Building and Environment*, 135, 112-123.
- [28] Wyszecki G, Stiles WS. *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*. 2nd Edition, New York: John Wiley & Sons, 1982.
- [29] Smith, V.C.; Pokorny, J. Spectral Sensitivity of the Foveal Cone Photopigments between 400 and 500 Nm. *Vis. Res.* 1975, 15, 161-171. [CrossRef]
- [30] Commission Internationale de l'Éclairage. *Light as a True Visual Quantity: Principles of Measurement*. Paris: Commission Internationale de l'Éclairage, 1994
- [31] Rea, M.; Figueiro, M. Light as a Circadian Stimulus for Architectural Lighting. *Lighting Res. Technol.* 2018, 50, 497-510.
- [32] Lucas R., Peirson S., Berson D., Brown T., Cooper H., Czeisler C., Figueri M., Gamlin, P., Lockley, S., O'hagan J., Price, L., Provencio I., Skene D., Brainard G. (2014). Measuring and Using Light in the Melanopsin Age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), (1-9)
- [33] Al Enezi, J.; Revell, V.; Brown, T.; Wynne, J.; Schlangen, L.; Lucas, R. A "Melanopic" Spectral Efficiency Function Predicts the Sensitivity of Melanopsin Photoreceptors to Polychromatic Lights. *J. Biol. Rhythm.* 2011, 26, 314-323.
- [34] Lucas, R. J., Peirson, S. N., Berson, D. M., Brown, T., Cooper, H., Czeisler, C. A., ... & Brainard, G. C. (2013). Irradiance toolbox.
- [35] S. Li, X. Zhao, Z. Tao, B. Wei, W. Ding and Q. Dai, "A Simplified Computational Model for Circadian Stimulus Based on Illuminance, Correlated Color Temperature, and Color Rendering Index," in *IEEE Photonics Journal*, vol. 14, no. 6, pp. 1-10, Dec. 2022, Art no. 3762510, doi: 10.1109/JPHOT.2022.3225427
- [36] Akashi, Y., & Neches, J. (2004). Detectability and acceptability of illuminance reduction for load shedding. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 33(1), 3-13.
- [37] IDEA (2020). *Guía Técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria*. [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/guia\\_eficiencia\\_energetica\\_en\\_hospitales.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guia_eficiencia_energetica_en_hospitales.pdf)
- [38] Price, L.L.A., et al. Linking the non-visual effects of light exposure with occupational health. *Int J Epidemiol* 48, 1393-1397 (2019)

## VII. BIOGRAFIAS



Valeria Pavigianiti, INAHE. CONICET- MENDOZA. Arquitecta. Becaria Doctoral.



Roberto German Rodríguez, INAHE. CONICET- MENDOZA. Dr. en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Investigador Adjunto.



Andrea Elvira Pattini, INAHE. CONICET- MENDOZA. Dra. en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Investigador Principal.