

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MEDIR EL DESLUMBRAMIENTO EN AMBIENTES INTERIORES MEDIANTE CUATRO RANGOS DE APERTURA OCULAR

Recibido 23/11/2023
Aceptado 17/04/2024

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR MEASURING GLARE IN INDOOR ENVIRONMENTS USING FOUR EYE OPENNESS RANGES

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MEDIR O ENCANDEAMENTO EM AMBIENTES INTERNOS UTILIZANDO QUATRO GAMAS DE ABERTURA OCULAR

Julieta Yamin-Garretón

Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación eficiente
Investigadora del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-9322-2902>
jyamin@mendoza-conicet.gob.ar (Autora de Correspondencia)

Darío Jaime

Licenciado en Energías Renovables
Personal de Apoyo - Programador
Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0009-0008-5617-8736>
djaime@mendoza-conicet.gob.ar

Maureen De Gastines

Doctora en Ingeniería
Investigadora del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-0357-9375>
mdegastines@mendoza-conicet.gob.ar

Emanuel Schumacher

Ingeniero en Electrónica
Personal de Apoyo del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0009-0002-4428-2022>
eschumacher@mendoza-conicet.gob.ar

Andrea Pattini

Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación eficiente
Investigadora - Directora del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Mendoza, Argentina
<https://orcid.org/0000-0001-6305-1268>
apattini@mendoza-conicet.gob.ar



RESUMEN

El desarrollo de modelos de deslumbramiento contribuye a una mejor evaluación del confort visual de los ocupantes en espacios interiores. Los indicadores oculares pueden ser una herramienta adecuada para evaluar el deslumbramiento de manera dinámica en climas soleados para evitar las molestias visuales. En este trabajo, se mide el grado de apertura ocular y se propone su medición en cuatro rangos (oclusión, semi-oclusión, semi-apertura y apertura) por medio de un eye-tracker. El objetivo de este trabajo fue evaluar de qué manera se relaciona el grado de apertura ocular con los niveles de iluminancia vertical (Ev) inferiores a 2484 lx (valor donde aparece la sensación de deslumbramiento molesto), así como determinar si la percepción subjetiva del deslumbramiento de las personas corresponde a los rangos de deslumbramientos propuestos por Wienold (2019). Estos parámetros se midieron en tres condiciones de deslumbramiento percibido (notable, perturbador e intolerable). Los resultados mostraron que la medición de apertura ocular en cuatro rangos, tiene el potencial de cuantificar de manera objetiva y dinámica la sensación de deslumbramiento en todos los escenarios evaluados y en cuanto a su relación con los valores de Ev de referencia, los valores percibidos como notable y perturbador, fueron inferiores a los valores de referencia, mientras que los valores percibidos como intolerable fueron coincidentes.

Palabras clave

deslumbramiento, confort visual, indicadores oculares

ABSTRACT

The development of glare models contributes to a better assessment of occupant's visual comfort in indoor spaces. Eye indicators can dynamically assess glare in sunny climates to avoid visual discomfort. In this work, an eye tracker measures the degree of eye openness in four ranges (occlusion, semi-occlusion, semi-openness, and openness). This work aimed to evaluate how the degree of eye openness is related to vertical illuminance levels (Ev) below 2484 lx (value where the sensation of bothersome glare appears), as well as to determine whether people's subjective perception of glare follows the glare ranges proposed by Wienold (2019). These parameters were measured in three conditions of perceived glare (noticeable, disturbing, and intolerable). The results showed that the measurement of eye openness in four ranges has the potential to objectively and dynamically quantify the sensation of glare in all the scenarios evaluated. Regarding its relationship with the reference Ev values, the values perceived as noticeable and disturbing were lower than the reference values, while the values perceived as intolerable coincided.

Keywords

glare, visual comfort, eye indicators

RESUMO

O desenvolvimento de modelos de ofuscamento contribui para uma melhor avaliação do conforto visual dos ocupantes de ambientes internos. Os indicadores oculares podem ser uma ferramenta adequada para avaliar o ofuscamento de forma dinâmica em climas ensolarados para evitar o desconforto visual. Neste trabalho, o grau de abertura ocular é medido e proposto para ser medido em quatro faixas (oclusão, semi-oclusão, semi-abertura e abertura) por meio de um rastreador ocular. O objetivo deste trabalho foi avaliar como o grau de abertura ocular está relacionado aos níveis de iluminância vertical (Ev) abaixo de 2484 lx (valor em que aparece a sensação de brilho incômodo), bem como determinar se a percepção subjetiva de brilho das pessoas corresponde às faixas de brilho propostas por Wienold (2019). Esses parâmetros foram medidos em três condições de percepção de ofuscamento (perceptível, incômodo e intolerável). Os resultados mostraram que a medição da abertura ocular em quatro faixas tem o potencial de quantificar de forma objetiva e dinâmica a sensação de ofuscamento em todos os cenários avaliados e, em termos de sua relação com os valores de Ev de referência, os valores percebidos como perceptíveis e incômodos foram inferiores aos valores de referência, enquanto os valores percebidos como intoleráveis foram coincidentes.

Palavras-chave:

ofuscamento, conforto visual, indicadores oculares

INTRODUCCIÓN

Es importante abordar el desempeño de la iluminación natural en los edificios desde dos perspectivas: la eficiencia energética y el factor humano. Respecto al factor humano, una vista al exterior agradable y el acceso controlado a la luz natural son factores cruciales para el bienestar de las personas en términos de confort visual (Aries et al., 2010). Pero estos beneficios pueden obtenerse sólo si la ventana está acompañada de un elemento de control solar adecuado para regular el nivel de deslumbramiento, el que representa uno de los mayores desafíos en la búsqueda de un confort visual óptimo y es una barrera fundamental para el uso eficiente de la luz natural en los edificios (Shin et al., 2012).

El deslumbramiento se define como una sensación producida por luminancias dentro del campo visual mayores a las luminancias a la que el sistema visual está adaptado (DiLaura, 2010). El deslumbramiento subjetivo experimentado por las personas, se puede medir a partir de cuestionarios, la escala de cuatro puntos propuesta por Osterhaus y Bailey es una de las más utilizadas, su denominación en inglés y su correspondiente traducción al español es 'imperceptible = imperceptible', "noticeable = notable", "disturbing = perturbador" e "intolerable = intolerable". Por otro lado, existen modelos de deslumbramiento que describen la magnitud subjetiva de deslumbramiento experimentado por los observadores (CIE, 2020) y consisten en medidas fotométricas ajustadas a las respuestas de las personas, obtenidas por ej. a partir de la escala de 4 puntos de Osterhaus y Bailey previamente mencionada. Una particularidad de estos modelos, es que considera la dirección de la mirada en un punto fijo (Hopkinson, 1950). Esta es una gran limitación de los modelos, ya que, la dirección de la mirada es dinámica y obliga al ojo a readaptarse a las distintas condiciones fotométricas del ambiente (Kokoschka y Haubner, 1985). Por lo tanto, resulta muy complicado evaluar el confort visual efectivo de los ocupantes a partir de mediciones fijas en un puesto de trabajo (Johra et al., 2021).

Los modelos más utilizados son el DGP (Wienold y Christoffersen, 2006) y la métrica Ev (iluminancia vertical a nivel de los ojos) (Wienold et al., 2019). Sin embargo, la aplicabilidad de la métrica DGP y Ev está limitada por el alcance del conjunto de datos utilizado para su desarrollo, ya que no pueden representar todo el espectro de escenarios lumínicos encontrados en situaciones del mundo real (Quek et al., 2021). Además de esto, hay muchos aspectos psicológicos como el estado emocional, nivel de sensibilidad al deslumbramiento, interpretación de cuestionarios y escalas, y fisiológicos como, la corrección visual, pigmentación ocular, cronotipo, que podrían influir en la sensación de deslumbramiento y que aún no han sido bien identificados, muchos de ellos, se describen

detalladamente en el artículo de revisión bibliográfica de Pierson et al., (2017).

Un estudio reciente de revisión bibliográfica de la respuesta fisiológica de las personas frente a condiciones de discomfort visual en espacios de oficina, mostró una gran cantidad de inconsistencias en los modelos existentes y destacó la necesidad de un método más objetivo para derivar en los índices de deslumbramiento, como la respuesta fisiológica de las personas (Hamedani et al., 2019). La respuesta fisiológica registrada, mediante un seguidor de ojos, puede contribuir a una evaluación de la mirada de manera dinámica, teniendo en cuenta las fluctuaciones lumínicas del ambiente (Sarey Khanie, 2015).

La naturaleza de estas respuestas fisiológicas, se encuentra en el sistema nervioso autónomo del cuerpo humano, el que mediante varios reflejos, intenta disminuir las fluctuaciones del entorno, en este caso el exceso de luz, además de mantener el cuerpo fisiológicamente estable (Boyce, 2003). Algunos de los mecanismos de adaptación visual han sido ampliamente estudiados, pero los que aún requieren mayor validación estadística son :

- Grado de apertura ocular: un primer estudio mostró que el exceso de luz en el área de los ojos, producía cambios en las actividades de los músculos faciales alrededor del ojo (Berman et al., 1993). Posteriormente, este indicador mostró una correlación elevada con el deslumbramiento percibido por las personas en condiciones de deslumbramiento perturbador e intolerable (Yamin Garretón et al., 2015; Yamin Garretón et al., 2016).
- Frecuencia y amplitud de parpadeo espontáneo del ojo: la actividad de parpadeo espontáneo, puede verse afectada por la presencia de una fuente deslumbrante, especialmente si los sujetos miran ligeramente hacia arriba (Doughty, 2014). Por otra parte, existen otros estudios que han mostrado un aumento de la frecuencia de pestañeos en trabajo de oficina con uso de PVD (Pantalla de visualización de datos) (Yamin Garretón et al., 2016).
- Tamaño relativo de la pupila: este indicador mostró una correlación media y significativa, con la evaluación subjetiva de las personas frente al deslumbramiento (Lin et al., 2015), y es considerado el mejor predictor de deslumbramiento "perturbador e intolerable" (Hamedani et al., 2020b).
- Movimientos oculares: varios estudios han mostrado una correlación significativa entre la sensación de deslumbramiento y las respuestas de las personas (Hamedani et al., 2020a; Lin et al., 2015; Sarey Khanie et al., 2013; Yamin Garretón et al., 2016).

Los indicadores oculares recientemente citados, demostraron inicialmente ser una herramienta adecuada para evaluar el deslumbramiento en climas soleados,

Tabla 1: Tres rangos de deslumbramiento. Fuente: Elaboración propia de los autores.

Métrica	Valores umbrales ('cut-off')		
	Imperceptible-notable BIN	Notable-Perturbador BNP	Perturbador-Intolerable BPI
Ev	2484 lx	3359 lx	4384 lx

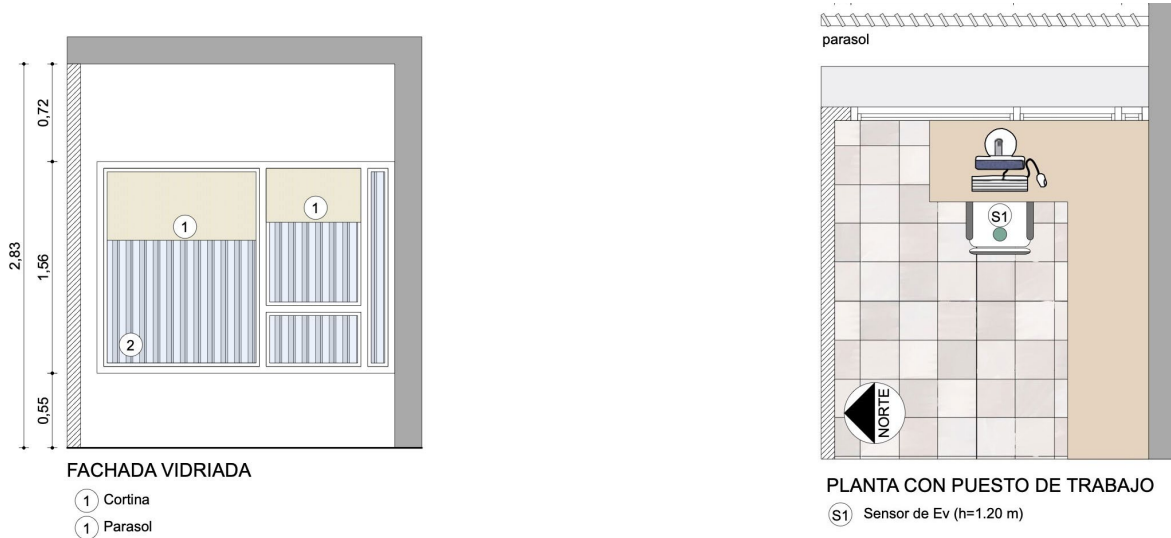


Figura 1: En la fachada vidriada (superior) se observa los dos tipos de elementos de control utilizados y las dimensiones de la ventana. En la planta (inferior) se observa el puesto de trabajo y la ubicación del sensor de iluminancia vertical. Fuente: Elaboración de los autores.

sin embargo, se requieren estudios adicionales para validar su uso y extender su aplicación, ya que estos fueron estudiados en situaciones de deslumbramiento desde 3000 lx hasta 11000 lx de iluminancia vertical a nivel de los ojos (Yamin Garretón et al., 2015). Estos indicadores no fueron probados aún en situaciones de iluminancias verticales más bajas, que son las que se encuentran frecuentemente en espacios de oficina, un valor importante de detectar es el valor umbral entre deslumbramiento imperceptible y notable de 2484 lx establecido por Wienold et al. (2019), este valor umbral determina la frontera entre el confort y el desconfort visual, este valor también se denomina BCD del inglés (borderline confort discomfort) tiene su origen en los experimentos de Luckiesh y Guth (1949).

En el siguiente trabajo, se propone utilizar la apertura ocular desde una perspectiva objetiva y dinámica, para cuantificar el deslumbramiento a partir de una metodología novedosa. La medición de este indicador, se abordará a partir de cuatro rangos de apertura (oclusión, semi-oclusión, semi-apertura, apertura). El objetivo de validar estos indicadores oculares es:

- Determinar de qué manera se relaciona el grado de apertura ocular con los niveles de iluminancia

vertical inferiores a 2484 lx (valor donde aparece la incomodidad por deslumbramiento), así como determinar si la percepción subjetiva del deslumbramiento de las personas corresponde a los rangos de Ev propuestos por Wienold et al. (2019).

- Una evaluación más precisa del deslumbramiento, que considere el dinamismo de la visión y detecte la aparición del deslumbramiento incómodo en espacios interiores como oficinas, puede prevenir, que las personas bloqueen las ventanas debido al riesgo potencial de deslumbramiento. Una ventana con acceso a iluminación natural controlada y sin fuentes deslumbrantes, permite los beneficios de la vista al exterior, cómo hacer mejoras en el funcionamiento cognitivo (Sharam et al., 2023), un adecuado funcionamiento del sistema circadiano (Mathew et al., 2023), entre otros aspectos importantes mencionados en Abd-Alhamid et al. (2023).

METODOLOGÍA

La investigación realizada, consiste en medir el comportamiento ocular, a través de la apertura ocular en cuatro rangos (oclusión/semi-oclusión/semi-apertura y



Figura 2: Las seis figuras, muestran un ejemplo de las tres condiciones de deslumbramiento generadas por los usuarios a partir de la manipulación de cortinas roller y la posición del monitor sobre el escritorio. Se accionó sólo la cortina derecha. Para tener una visión completa del entorno, se tomó una foto con lente ojo de pez, cuyo ángulo de visión es de 180°. Fuente: Elaboración de los autores.

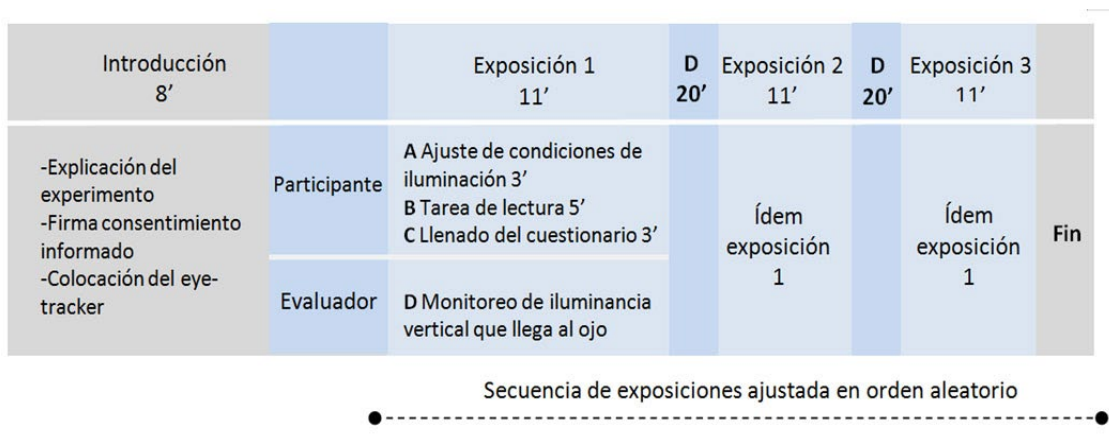


Figura 3: Secuencia de actividades en el experimento. D (tiempo de descanso). Fuente: Elaboración de los autores.

apertura) por medio de un eye-tracker. Estos parámetros se midieron en tres condiciones de iluminación: DN (deslumbramiento notable), DP (deslumbramiento perturbador) - DI (deslumbramiento intolerable) en función de la sensación subjetiva de deslumbramiento, las que fueron definidas por los participantes, en relación al tiempo que podían tolerar cada situación con deslumbramiento (Osterhaus, 1996; Osterhaus y Bailey, 1992), la descripción detallada se encuentra en la sección: Ajuste de las condiciones de iluminación.

Se evaluaron 9 participantes en estas tres condiciones lumínicas, donde cada uno, tenía que realizar una tarea de lectura en una oficina ubicada en el centro científico tecnológico CCT-Conicet, Mendoza. Las mediciones, se realizaron a partir de las 9:00 am hasta las 10:00 am aproximadamente, en el equinoccio de primavera durante los meses de septiembre (hora de inicio: altitud solar 13.06° y azimut 108) y octubre (hora de inicio: altitud solar 22°, azimut 100) de 2023. Las mediciones se realizaron en días completamente soleados. Durante el experimento, la iluminación artificial estuvo apagada y se utilizó sólo iluminación natural proveniente de la ventana. Las ventanas están ubicadas con orientación al este, cuentan con dimensiones de 2.00 x 1.56 m, con cortinas tipo "Roller" de interior y parasoles verticales exteriores (Figura 1). La disposición del puesto de trabajo, permitía la visión

frontal, perpendicular y/o paralela a la ventana (Figura 2). El procedimiento experimental se detalla en profundidad en la sección: Secuencia Experimental.

Se monitoreó la Iluminancia vertical que llega al ojo (Ev). Este indicador es adecuado sólo cuando la cantidad de luz que llega a los ojos, es elevada y superior al efecto producido por el contraste entre la luminancia de la fuente y el fondo (Wienold et al., 2019), como en el caso de este experimento. El objetivo, fue identificar de qué manera se relaciona el grado de apertura ocular, con los niveles de iluminancia vertical inferiores a 2484 lx, así como determinar, si la percepción subjetiva del deslumbramiento de las personas corresponde a los rangos de deslumbramientos propuestos por Wienold et al. (2019) indicados en la Tabla 1.

Los nueve participantes del estudio (7 mujeres, 2 hombres) tenían que contar con algunas características principales como, presentar visión normal y estar en buenas condiciones de salud para poder participar en el experimento. Las edades de los participantes fueron: media=35, ds=6.39, mín=23 máx=40. Esta muestra, incorpora nueve personas seleccionadas como sujetos experimentales de un estudio anterior con muestra de mayor tamaño (Yamin Garretón et al., 2015). A partir de pruebas estadísticas epidemiológicas de especificidad y sensibilidad, los participantes, fueron clasificados como sujetos experimentados y seleccionados

Tabla 2. Escala de deslumbramiento utilizado. Fuente: Elaboración propia de los autores.

Nombre	Pregunta	Respuesta
Binaria	¿Experimenta alguna molestia debido al deslumbramiento en este momento?	Sí No
Escala Osterhaus-Bailey	En este momento, ¿cómo describirías el nivel de deslumbramiento en su campo de visión?	Imperceptible Notable Perturbador Intolerable

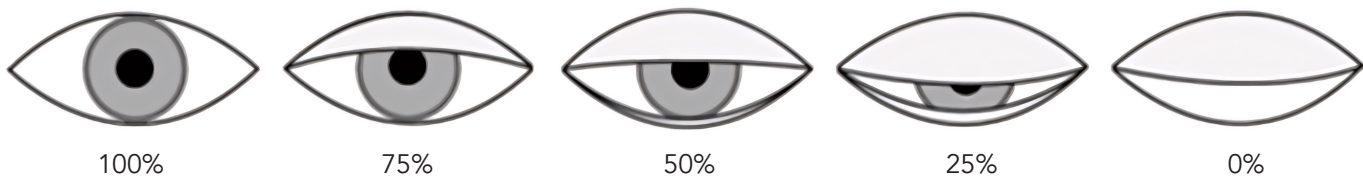


Figura 4: Diferentes porcentajes de apertura ocular. Fuente: Elaboración de los autores

para el ensayo. La sensibilidad es la probabilidad que la persona identifique como deslumbrante una condición que efectivamente lo es y la especificidad, es la probabilidad que la persona identifique como no deslumbrante una condición lumínica que no lo es. La relación entre la sensibilidad y la especificidad, nos da la exactitud diagnóstica. El cálculo por pasos de esta metodología, puede encontrarse en Rodríguez et al. (2017). Esta metodología de trabajar con un grupo reducido pero experimentado, ha sido validada en algunos trabajos de deslumbramiento (Hopkinson, 1957; Suk et al., 2016).

SECUENCIA EXPERIMENTAL

La secuencia de actividades realizadas por los participantes y evaluadores durante el experimento se puede observar en la Figura 3.

-Ajuste de las condiciones de iluminación: Como se observa en la Figura 3, los participantes (A) tuvieron que acomodar su puesto de trabajo mediante el accionamiento de las cortinas "Roller": subir o bajar cortinas y posicionar la pantalla para generar distintas direcciones de la visión respecto a la ventana. Visión de 0° (directa a la ventana), 90° (paralela a la ventana) y 45° (perpendicular a la ventana).

A partir de la modificación de su espacio de trabajo, los participantes pudieron experimentar las tres condiciones lumínicas: notable – perturbador – intolerable. Previamente, se les proporcionó una definición de las tres condiciones en función del tiempo en que podían tolerar cada situación con deslumbramiento (Osterhaus, 1996; Osterhaus y Bailey, 1992).

1. Deslumbramiento notable: Es el punto donde se nota el deslumbramiento por primera vez, hay una ligera experiencia de incomodidad, pero se puede tolerar

Tabla 3. Rangos de apertura. Fuente: Elaboración de los autores.

Porcentaje de apertura	Nombre de referencia
0-25%	Oclusión
25-50%	Semi-oclusión
50-75%	Semi-apertura
75-100%	Apertura

durante varias horas.

- Deslumbramiento perturbador: Se definió como una experiencia de malestar en que el deslumbramiento puede ser tolerado durante 15 a 30 minutos y requiere un cambio de las condiciones de iluminación.
- Deslumbramiento Intolerable: Es el deslumbramiento que, los sujetos no pueden soportar, cuentan con un punto de inflexión que, requiere cambios de las condiciones de iluminación inmediatas.

-Tarea de lectura: A continuación, como se observa en la Figura 3, los participantes (B) realizaron una tarea de lectura con la vista fija en la pantalla, el texto se proyectaba en el margen superior de la misma y la persona debía bajar el texto con el mouse, pero no su visión, ya que dirigir la visión hacia abajo, implica que los párpados se cierren, lubricando el ojo y reduciendo la aparición de los pestaños. Se realizó este tipo de tarea con la visión lo más fija posible en la pantalla, para obtener una señal más limpia. Las personas leyeron un texto en la pantalla en un tiempo de 5 minutos, tiempo para lograr que el ojo se adapte a la condición lumínica específica.

-Llenado de cuestionario: Al finalizar la tarea, como se observa en la Figura 3, los participantes (C) procedieron a llenar un cuestionario para cada una de las tres exposiciones

(Tabla 2). El orden de las exposiciones fue aleatorio, para evitar el sesgo de orden. El descanso entre cada exposición fue de 20 minutos, tiempo necesario para que se readapte el ojo de los participantes y puedan prepararse para la siguiente exposición.

-Monitoreo de iluminancia vertical: Como se observa en la Figura 3, los evaluadores (D) monitorearon y registraron la iluminancia vertical a nivel de los ojos al inicio y al final de la tarea de lectura realizada por los participantes; para corroborar que, el valor de iluminancia vertical no varió de manera importante durante la realización de la tarea. Se consideraron válidos, los escenarios en que el valor de iluminancia no varía significativamente entre la primera y segunda medición, reportándose el valor promedio de los dos puntos registrados. El sensor de iluminancia consistió en un equipo "LMT Lux 2 luxmeter" con rango de medición de 0.1 a 200000 lx, fecha de calibración 2023. Este sensor se montó sobre un trípode, se ubicó a la altura de los ojos del participante en dirección a la tarea, con un ángulo de 45°.

REGISTRO OCULAR

El grado de contracción muscular alrededor de los ojos que, reduce la luz que entra se midió basándose en el modelo de Tsao (Tsao, 2008) definido por la ecuación (1)

$$DEO=L/L_{max} \quad (1)$$

Donde DEO, es el porcentaje de apertura ocular, L es el nivel de apertura del ojo en presencia de una fuente de deslumbramiento y Lmax es la altura máxima del ojo, cuando está totalmente abierto. Se estableció un valor umbral para definir si el ojo estaba abierto o cerrado: si la relación era inferior a 0.2, entonces el ojo se consideraba cerrado, en caso contrario se definía como abierto (Figura 4).

En este trabajo, se propone clasificar la apertura ocular en cuatro rangos igualmente distribuidos (Tabla 3) para posteriormente calcular el tiempo en que los ojos estuvieron en dicha apertura.

DESCRIPCIÓN DEL EYE-TRACKER

El eye-tracker empleado fue diseñado específicamente para este estudio (Figura 5). El mismo consiste en un casco sobre el que se montó, mediante un brazo articulado, una cámara web de alta calidad (Calidad 720p, tamaño de lente 1/4", ángulo de visión de lente: 68,6°) que registra la imagen del rostro de los participantes. Las imágenes se tomaron con una frecuencia de 30 fotogramas por segundo y muestran una porción fija del rostro.

El análisis de las imágenes registradas, consistió primero en realizar el reconocimiento facial de los individuos empleando el modelo Face Landmark Detection de MediaPipe (Bazarevsky et al., 2019; Yan y Grishchenko, 2022) por medio de 478 puntos faciales, de los que sólo



Figura 5. Eye-tracker en uso. Fuente: Elaboración de los autores.

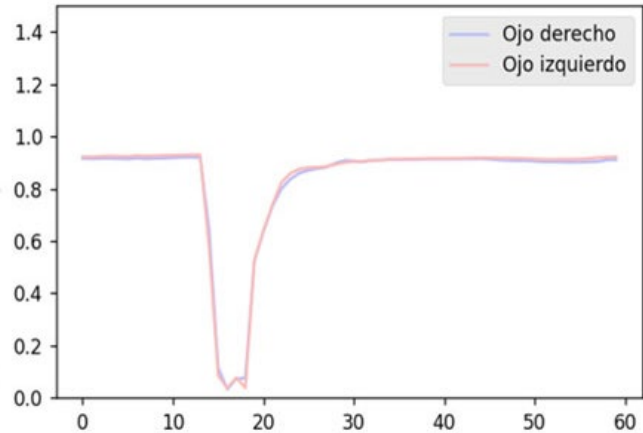


Figura 6. Cámara y script en funcionamiento. Izquierda: video captando los 10 puntos de interés detectados en blanco. Derecha: lectura de apertura ocular de los últimos 60 fotogramas. Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 4. Medidas de iluminancia vertical (Ev) registradas en los tres escenarios evaluados. Fuente: Elaboración de los autores.

Ev	DN	DP	DI
Min	1050 lx	1100 lx	3600 lx
Max	2000 lx	3800 lx	12000 lx
Promedio	1496.11 lx	2411.11 lx	6966.66 lx
De	353.07 lx	706.12 lx	2723.96 lx

Tabla 5. Valores de apertura ocular (media, mediana y ds) para la sensación de deslumbramiento notable (DN). Fuente: Elaboración de los autores.

DN	Apertura 0-1		
	media	mediana	DS
Participante 1	0.92	0.94	0.08
Participante 2	0.83	0.86	0.12
Participante 3	0.86	0.91	0.16
Participante 4	0.71	0.76	0.18
Participante 5	0.87	0.88	0.08
Participante 6	0.80	0.84	0.15
Participante 7	0.78	0.80	0.10
Participante 8	0.79	0.80	0.08
Participante 9	0.84	0.84	0.11
Media total	0.82	0.85	0.12
Ds total	0.06	0.06	0.04

Tabla 6. Valores de apertura ocular (media, mediana y ds) para la sensación de deslumbramiento perturbador (DP). Fuente: Elaboración de los autores

DP	apertura 0-1		
	media	mediana	DS
Participante 1	0.85	0.86	0.11
Participante 2	0.80	0.82	0.10
Participante 3	0.75	0.79	0.13
Participante 4	0.75	0.81	0.18
Participante 5	0.89	0.90	0.07
Participante 6	0.72	0.75	0.14
Participante 7	0.81	0.82	0.09
Participante 8	0.89	0.90	0.07
Participante 9	0.78	0.79	0.09
Media total	0.80	0.82	0.10
Ds total	0.06	0.05	0.04

Valores de apertura para el escenario DN

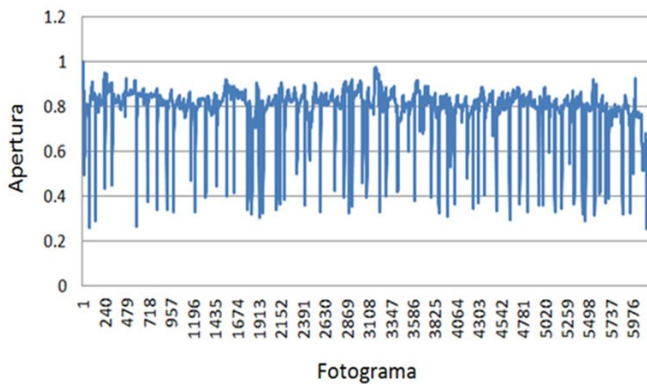


Figura 7. Valores de apertura ocular del participante 2 para el escenario DN en función del tiempo (30 fotogramas por segundo). Fuente: Elaboración de los autores.

Valores de apertura para el escenario DP

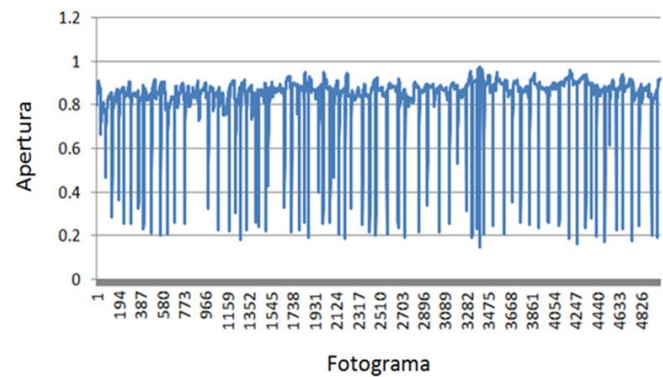


Figura 8. Valores de apertura ocular del participante 2 para el escenario DP en función del tiempo (30 fotogramas por segundo). Fuente: Elaboración propia de los autores.

diez fueron de interés correspondientes a los ojos. Luego, a través de un script escrito en Python, se calcularon las coordenadas de los puntos de interés. La apertura ocular se calculó a partir de la distancia entre dos puntos fundamentales, el punto 1 que corresponde al párpado superior y el punto 6 que corresponde al párpado inferior siendo la distancia promedio entre los puntos 2 y 3 (Figura 6. Izquierda).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores mínimos, máximos, medios y de desviación estándar (De) de Ev registrados en las tres condiciones pueden observarse en la Tabla 4.

En la Tabla 4, se puede observar las medidas de Ev registradas durante la realización de la tarea visual, que hacen referencia al deslumbramiento percibido. A partir de los valores promedios de Ev, se observa que en los escenarios con deslumbramiento percibido como notable y perturbador, los valores de Ev fueron menores a los valores de referencia de la Tabla 1. Mientras que los valores de deslumbramiento percibido como intolerable, fueron coincidentes con los valores de referencia de la Tabla 1.

Por otro lado, se calculó el nivel de coincidencia de las respuestas de las personas con los valores de referencia. Se observó que, para el escenario DN, sólo 2 de las 9 respuestas coincidieron con los valores de referencia

propuesto por Wienold (2019); para el escenario DP, 3 de las 9 respuestas coincidieron con los valores de referencia; mientras que para el escenario DI, 9 de las 9 respuestas coincidieron con los valores de referencia.

A partir de los valores promedios de Ev y del nivel de coincidencia de las respuestas subjetivas con los valores de la Tabla 1, se puede determinar que, en los escenarios de deslumbramiento percibido como notable y perturbador, los valores de Ev no fueron coincidentes a los valores de referencia de la Tabla 1. Estas diferencias pueden deberse a otros factores además de la Ev, como presencia de brillos o reflejos indeseados, que pueden haber afectado la sensación de deslumbramiento y no fueron evaluados en esta investigación.

VALORES DE APERTURA

En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, se observa que, los valores de apertura ocular (media, mediana y desviación estándar "DS") de los nueve participantes en las tres condiciones de iluminación. Al final de cada tabla se puede observar también, la media total (med_tot) y la desviación estándar total (ds_tot) para obtener un valor de apertura por escenario. A la derecha de cada tabla se muestra la frecuencia de aperturas en las tres condiciones del participante 2 (Figura 7, Figura 8 y Figura 9).

Del análisis de la media total y la Ds total de los valores de apertura de los tres escenarios, se observó que, en el escenario DN con niveles lumínicos menores, el valor de apertura fue levemente mayor ($m=0.82$) respecto a los otros dos escenarios, este valor corresponde al rango de apertura (0.75-1). En el escenario DP con valores de deslumbramiento intermedios el valor medio de apertura fue levemente menor (0.80) pero también correspondiente a un rango de apertura total, por los que las diferencias entre los escenarios DN y DP no son evidentes. Por último, en el escenario DI el valor de apertura fue menor ($m=0.73$) correspondiente a un rango de semi-apertura (0.5-0.75), en este escenario con niveles de deslumbramiento más altos, se pone en evidencia la reducción de la apertura ocular.

Si bien estos datos muestran una tendencia general que, los valores de apertura disminuyen con el aumento de los niveles lumínicos, es decir que, a mayor nivel de deslumbramiento, menor nivel apertura, esta tendencia no se encuentra en todos los participantes. Por ejemplo, el participante 8 tuvo una apertura ocular promedio más elevada en el escenario DP (0.89) que en el escenario DN (0.79), y en el caso del participante 6, se registró un valor promedio de apertura ocular más elevada en el escenario DI (0.82) que en los otros dos escenarios (0.80 y 0.72).

Se observa, además en los escenarios DN (Tabla 5, participante 4) y DP (Tabla 6, participante 6), valores de

Tabla 7. Valores de apertura ocular (media, mediana y ds) para la sensación de deslumbramiento Intolerable (DI). Fuente: Elaboración de los autores

DI	apertura 0-1		
	media	mediana	DS
Participante 1	0.75	0.76	0.07
Participante 2	0.72	0.74	0.09
Participante 3	0.60	0.60	0.09
Participante 4	0.69	0.74	0.16
Participante 5	0.73	0.73	0.08
Participante 6	0.82	0.86	0.14
Participante 7	0.78	0.78	0.08
Participante 8	0.72	0.73	0.11
Participante 9	0.75	0.75	0.11
Media total	0.73	0.75	0.11
Ds total	0.06	0.07	0.03

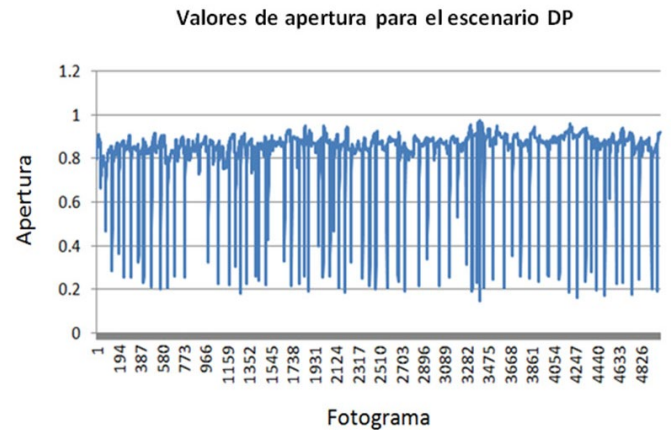


Figura 9. Valores de apertura ocular del participante 2 para el escenario DI en función del tiempo (30 fotogramas por segundo). Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 8. Pruebas de Z de Wilcoxon para comparación de medias (pruebas no paramétricas). Fuente: Elaboración de los autores.

	Z-Wilcoxon	Sig. (bilateral)
DN-DP	-0.830	0.407
DN-DI	-2.313	0.021
DP-DI	-2.018	0.044

Tabla 9. Porcentaje de tiempo en los 4 rangos de apertura para las tres condiciones de deslumbramiento percibido. La suma de tiempo total para cada situación fue del 100%. Fuente: Elaboración de los autores.

	DN				DP				DI			
	0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1	0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1	0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1
P1	1.8%	2.7%	5.1%	90.4%	1.5%	2.8%	12.4%	83.3%	1.1%	4.0%	38.0%	54.1%
P 2	1.6%	1.9%	3.7%	92.8%	0.2%	2.7%	15.1%	81.9%	0.6%	4.0%	49.8%	45.6%
P 3	1.2%	4.8%	4.4%	89.7%	1.1%	4.4%	17.0%	77.5%	0.0%	13.7%	78.8%	7.5%
P 4	5.0%	4.1%	5.6%	85.2%	5.1%	5.5%	16.8%	72.5%	5.6%	5.0%	39.0%	50.5%
P 5	0.8%	0.4%	1.2%	97.6%	0.2%	0.4%	7.7%	91.7%	0.2%	1.6%	46.1%	52.0%
P 6	1.8%	2.8%	6.7%	88.7%	1.6%	3.4%	14.2%	80.9%	1.6%	4.0%	7.1%	87.3%
P 7	1.2%	0.8%	2.8%	95.3%	0.8%	0.8%	1.4%	97.0%	0.4%	1.4%	12.5%	85.7%
P 8	1.0%	1.0%	6.2%	91.9%	0.2%	0.8%	17.2%	81.8%	0.8%	2.9%	44.3%	52.0%
P 9	1.0%	2.9%	5.3%	90.9%	1.8%	1.8%	14.0%	82.4%	1.0%	4.0%	41.3%	53.8%
Me	1.7%	2.4%	4.5%	91.4%	1.4%	2.5%	12.9%	83.2%	1.2%	4.5%	39.7%	54.3%
	100%				100%				100%			
De	1.3	1.4	1.7	3.6	1.5	1.7	5.2	7.2	1.6	3.6	20.9	23.3

Tabla 10. Pruebas de Wilcoxon para comparación de medias, p significación bilateral. Fuente: Elaboración de los autores.

	Oclusión		Semi-oclusión		Semi-apertura		Apertura	
	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
DN - DP	-0.984	0.325	-0.254	0.799	-2.549	0.011	-2.192	0.028
DN - DI	-1.544	0.123	-2.673	0.008	-2.666	0.008	-2.666	0.08
DP - DI	-0.511	0.610	-2.442	0.015	-1.599	0.110	-1.599	0.110

apertura menores (ojo en semi-apertura) respecto al resto de los participantes (ojo en apertura). Esto evidencia que, los valores promedio de apertura (media) no son una prueba estadística suficientemente robusta para discriminar las tres condiciones de deslumbramiento percibido. Si bien el escenario DI fue estadísticamente diferente a los otros dos escenarios ($p < 0.05$) (Tabla 8), el escenario DN no fue estadísticamente diferente respecto al DP ($p > 0.05$) (Tabla 8). Para determinar la diferencia entre estos dos escenarios (DN-DP), se calculó cuánto tiempo estuvieron los participantes en las 4 condiciones de apertura (oclusión, semi-oclusión, semi-apertura, apertura).

ANÁLISIS DE CUATRO RANGOS DE APERTURA

En la Tabla 9 se observa el porcentaje de tiempo en que los ojos de los participantes estuvieron en los 4 rangos de apertura para las tres condiciones de deslumbramiento percibido. De manera general, se puede decir que, en las tres condiciones de deslumbramiento percibido, los ojos estuvieron mayor tiempo en apertura (0.75-1), observándose también que la apertura en este rango va disminuyendo a medida que aumenta el deslumbramiento. De manera más particular, se pueden realizar las siguientes observaciones respecto a los cuatro

rangos de apertura. Por un lado, los valores medios del porcentaje de tiempo en oclusión (0-0.25) fueron de 1.7% (escenario DN), 1.4% (escenario DP) y 1.2% (escenario DI), las pruebas z-Wilcoxon (Tabla 10) muestran que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) entre los tres escenarios (Tabla 9). Por otra parte, los valores medios del porcentaje de tiempo en semi-oclusión (0.25-0.50) fueron de: 2.4% (escenario DN), 2.5% (escenario DP) y 4.5% (escenario DI), con diferencias significativas sólo entre los escenarios DN y DI y entre DP y DI ($p<0.05$). Respecto a los valores de la media en rango de semi-apertura (0.50 - 0.75) se evidencia que, el tiempo se cuadruplica entre el escenario DP (12.9%) y el DN (4.5%) y casi se triplica entre el escenario DI (39%) y el DP (12.9%). Las pruebas estadísticas mostraron que hubo diferencias significativas entre el escenario DN y DP y entre DN y DI ($p<0.05$). Por último, en apertura total (0.75-1) sólo hubo diferencias significativas entre el escenario DP (83.2%) y DI (54.3%).

A partir del análisis previamente reportado, es importante destacar que, en el rango de oclusión total no es posible diferenciar los tres escenarios lumínicos. Por el contrario, en los rangos de semi-apertura y apertura, se diferenció el escenario DN del DP. En los rangos de semi-apertura y semi-oclusión, se distinguió el escenario DN del DI. Por último, el rango de semi-oclusión fue el único capaz de diferenciar el escenario DP del DI. Es importante resaltar que, todos los escenarios lumínicos evaluados, se pudieron discriminar mediante indicadores oculares. Los tres rangos de apertura que mayor información proporcionaron fueron: el de semi-oclusión, semi-apertura y apertura.

El porcentaje de tiempo en los diferentes rangos de apertura ocular definidos en la investigación, es un indicador significativo del nivel de deslumbramiento, ya que permite diferenciar los 3 niveles existentes (notable, perturbador e intolerable). Considerándose este el resultado como el más relevante del estudio.

Es importante resaltar las limitaciones de este trabajo y las propuestas para futuros trabajos:

- En futuros trabajos, se podrían considerar los rangos de iluminación presentados a los participantes de dos maneras: predefinidas por los evaluadores y que todos los participantes experimenten las mismas condiciones de deslumbramiento percibido, y ajustados por los participantes según su experiencia previa (como fue el caso de este experimento).
- Es importante que, en futuros trabajos, se complementen las medidas de iluminancia vertical con modelos de deslumbramiento como el modelo DGP, que incluye medidas de contraste de luminancias. También es importante evaluar distintas tareas, no sólo tareas de lectura en pantalla, ya que las tareas típicas de oficinas incluyen tareas sobre en plano horizontal (teclado, papel).

- Además, es necesario incluir más participantes con distinto nivel de sensibilidad al deslumbramiento, para poder sacar resultados más robustos. También sería importante complementar la metodología propuesta con otros indicadores oculares, cómo el número de pestañeos, o realizar análisis de frecuencias para detectar patrones en el comportamiento ocular que se repitan bajo diferentes condiciones de deslumbramiento percibido.
- Del mismo modo, sería interesante en futuros trabajos, contrastar la información obtenida de los cuestionarios acerca del confort visual y relacionarla con los indicadores oculares. Para determinar si hay sesgos en las respuestas de las personas, producto del diseño experimental. Se han realizado numerosas sugerencias y críticas sobre la validez de las preguntas utilizadas en los cuestionarios subjetivos (Fotios y Kent, 2021; Quek et al., 2023). Esto está relacionado a la aparición de distintos tipos de sesgos en los diseños experimentales, por ejemplo, el efecto Hawthorne "modificación de la respuesta del participante como consecuencia del hecho de saber que están siendo estudiados, y no en respuesta al estudio experimental" (Perera, 2023) entre otros tipos de sesgos.
- Por último, la investigación contribuye a sentar las bases para crear un sistema de control, para regular los dispositivos de sombreado en oficinas a partir de la medición de deslumbramiento siguiendo la apertura ocular de manera dinámica, en contraste con las mediciones lumínicas actuales que se realizan en un punto de medición fijo.

CONCLUSIONES

Los modelos físicos están adaptados a las respuestas de las personas por medio de cuestionarios. Pero estos cuestionarios tienen una validez limitada (Quek et al., 2023) y pueden influir en las respuestas obtenidas según sea el tipo de cuestionario empleado. Los indicadores oculares, podrían proveer información objetiva respecto al grado de deslumbramiento experimentado por los participantes para cuantificar la sensación de las personas. Otra limitación, es que los modelos por la ubicación de los sensores, se colocan en una posición fija y consideran la dirección de la mirada en una dirección limitada. Por otra parte, los indicadores oculares, aportan información de la mirada de manera dinámica, registrando las distintas condiciones fotométricas del ambiente, a través de las fluctuaciones oculares.

El objetivo de la investigación fue proponer cuatro rangos de apertura ocular para evaluar el deslumbramiento. Sobre la muestra analizada, se encontró una tendencia a que es posible la discriminación de las condiciones de deslumbramiento percibido (DN-DP-DI) a partir de tres rangos de apertura: semi-oclusión (0.25-0.50) y semi-apertura (0.50-0.75) y apertura (0.75-1). Mientras que, en el rango de oclusión (0-0.25) no fue posible diferenciar los tres escenarios lumínicos. Respecto a los rangos propuestos, estos consistieron en 4 rangos igualmente distribuidos, en futuros trabajos se podría ajustar la distribución de los rangos, para analizar de manera más efectiva los niveles de deslumbramiento.

Respecto al nivel de coincidencia de las respuestas de las personas y los valores propuestos por Wienold et al. (2019), se puede concluir que, a partir de los valores promedios y del nivel de coincidencia de las respuestas subjetivas en los escenarios de deslumbramiento percibido como notable y perturbador, los valores de Ev medios, fueron menores a los valores de referencia, mientras que los valores de deslumbramiento percibido como intolerable, son coincidentes con los valores de referencia de la Tabla 1, sin embargo, se necesitan más estudios de validación para confirmar estos hallazgos.

La presencia de deslumbramiento en condiciones de deslumbramiento perturbador e intolerable. Este estudio visualizó la posibilidad de diferenciar entre condiciones de deslumbramiento notable y perturbadoras. Ajustar las herramientas, que ayudan a desarrollar modelos de deslumbramiento o incrementar su validez, podrían servir para una mejor evaluación del confort visual de los ocupantes en espacios interiores, a su vez, este trabajo pretende sentar las bases para desarrollar un algoritmo, capaz de identificar patrones oculares para realizar ajustes automáticos en los dispositivos de sombreado.

Es importante resaltar que, estudios previos a este trabajo (Hamedani et al., 2019), ya habían encontrado la posibilidad de cuantificar la presencia de deslumbramiento mediante indicadores oculares. Más específicamente, algunos estudios realizados en los últimos años (Hamedani et al., 2020), demostraron que la amplitud de pestañeos y el índice de agitación pupilar, podían cuantificar ciertas condiciones de deslumbramiento relativo (que incluye condiciones de deslumbramiento imperceptible y notable); mientras que los movimientos oculares (fijaciones) y el diámetro de la pupila, podían cuantificar niveles de deslumbramiento más extremos (perturbador e intolerable). La diferencia evidenciada en este estudio, respecto de los analizados previamente, es que en esta investigación se determinó la posibilidad de diferenciar todo el espectro de condiciones de deslumbramiento, las que van desde notable hasta

perturbador e intolerable, mediante un sólo indicador ocular que es la apertura ocular en sus cuatro rangos. Ajustar las herramientas que ayudan a desarrollar modelos de deslumbramiento o incrementar su validez, pueden servir para una mejor evaluación del confort visual de los ocupantes en espacios interiores.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo derivado del proyecto "Diferencias en la adaptación visual bajo dos climas luminosos diferentes y su influencia en la percepción de deslumbramiento molesto en oficinas" financiada por PIBBA 0915 Conicet- PICT-2019-04356, PUE - Inahe

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-Alhamid, F., Kent, M., y Wu, Y. (2023). Quantifying window view quality: A review on view perception assessment and representation methods. *Building and Environment*, 227, 109742. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132322009726?via%3Dihub>
- Aries, M. B. C., Veitch, J. A., y Newsham, G. R. (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 533–541. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.12.004>
- Bazarevsky, V., Kartynnik, Y., Vakunov, A., Raveendran, K., y Grundmann, M. (2019). Blazeface: Sub-millisecond neural face detection on mobile gpus. *ArXiv Preprint ArXiv:1907.05047*. <https://arxiv.org/abs/1907.05047>
- Berman, S. M., Bullimore, M. A., Jacobs, R., Bailey, I. L., y Gandhi, N. (1993). An Objective-Measure of Discomfort Glare. *1993 IESNA Annual Conference*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00994480.1994.10748079>
- Boyce, P. R. (2003). *Human factors in lighting*. Crc Press.
- CIE S 017/E:2020. (2020). ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd Edition. <https://cie.co.at/publications/ilv-international-lighting-vocabulary-2nd-edition-0>
- DiLaura, D. L. (2010). A New Lighting Handbook. *LEUKOS* 6(4), 256–258. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/15502724.2010.10732125>
- Doughty, M. J. (2014). Spontaneous eyeblink activity under different conditions of gaze (eye position) and visual glare. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 252, 1147–1153. <https://doi.org/10.1007/s00417-014-2673-8>
- Fotios, S., y Kent, M. (2021). Measuring discomfort from glare: Recommendations for good practice. *Leukos*, 17(4),

338–358. <https://eprints.whiterose.ac.uk/165602/3/fotios%20kent%202020%20measuring%20discomfort%20AUTHORS%20FINAL%20VERSION.pdf>

Hamedani, Z., Solgi, E., Skates, H., Hine, T., Fernando, R., Lyons, J., y Dupre, K. (2019). Visual discomfort and glare assessment in office environments: A review of light-induced physiological and perceptual responses. *Building and Environment*, 153, 267–280. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.035>

Hamedani, Z., Solgi, E., Hine, T., Skates, H., Isoardi, G., y Fernando, R. (2020a). Lighting for work: A study of the relationships among discomfort glare, physiological responses and visual performance. *Building and Environment*, 167, 106478. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106478>

Hamedani, Z., Solgi, E., Hine, T., y Skates, H. (2020b). Revealing the relationships between luminous environment characteristics and physiological, ocular and performance measures: An experimental study. *Building and Environment*, 172, 106702. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106702>

Hopkinson, R. G. (1950). The multiple criterion technique of subjective appraisal. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2(3), 124–131. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1080/17470215008416585>

Hopkinson, R. G. (1957). Evaluation of glare. *Illuminating Engineering*, 52(6), 305–316. https://www.brikbased.org/sites/default/files/ies_038.pdf

Johra, H., Gade, R., Poulsen, M. Ø., Christensen, A. D., Khanie, M. S., Moeslund, T., y Jensen, R. L. (2021). Artificial Intelligence for Detecting Indoor Visual Discomfort from Facial Analysis of Building Occupants. *Journal of Physics: Conference Series*, 2042(1), 12008. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2042/1/012008>

Kokoschka, S., y Haubner, P. (1985). Luminance ratios at visual display workstations and visual performance. *Lighting Research & Technology*, 17(3), 138–144. <https://doi.org/10.1177/14771535850170030101>

Lin, Y., Fotios, S., Wei, M., Liu, Y., Guo, W., y Sun, Y. (2015). Eye movement and pupil size constriction under discomfort glare. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 56(3), 1649–1656. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-15963>

Luckiesh, M., y Guth, S. K. (1949). Brightness in the visual field at the borderline between comfort and discomfort (BCD). *Illuminating Engineering*, 44, 650–670. https://www.brikbased.org/sites/default/files/ies_035_0.pdf

Mathew, V., Kurian, C. P., Varghese, S. G., Priyadarshini, K., y Bhandary, S. S. (2023). Real-time investigations and simulation on the impact of lighting ambience on circadian stimulus. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(5), 6703–6716. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-022-07510-0>

Osterhaus, W. K. E. (1996). Discomfort glare from large area glare sources at computer workstations. In *Proceedings for the 1996 International Daylight Workshop, Building with*

Daylight: Energy-Efficient Design., (pp. 103–110). https://www.researchgate.net/publication/323350484_Review_of_Factors_Influencing_Discomfort_Glare_Perception_from_Daylight

Osterhaus, W. K. E., y Bailey, I. L. (1992). Large area glare sources and their effect on visual discomfort and visual performance at computer workstations. *Conference Record of the 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 1825–1829. <https://www.osti.gov/servlets/purl/10125235>.

Perera, A. (2023). Hawthorne effect: Definition, how it works, and how to avoid it. *Simply Psychology*. <https://www.simplypsychology.org/hawthorne-effect.html>

Pierson, C., Wienold, J., y Bodart, M. (2017). Discomfort glare perception in daylighting: influencing factors. *Energy Procedia*, 122, 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.332>

Quek, G., Jain, S., Karmann, C., Pierson, C., Wienold, J., y Andersen, M. (2023). Comparison of questionnaire items for discomfort glare studies in daylight spaces. *Lighting Research & Technology*, 14771535231203564. <http://dx.doi.org/10.1177/14771535231203564>

Quek, G., Wienold, J., Khanie, M. S., Erell, E., Kaftan, E., Tzempelikos, A., Konstantzos, I., Christoffersen, J., Kuhn, T., y Andersen, M. (2021). Comparing performance of discomfort glare metrics in high and low adaptation levels. *Building and Environment*, 206, 108335. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108335>

Rodríguez, R. G., Garretón, J. A. Y., y Pattini, A. E. (2017). An epidemiological approach to daylight discomfort glare. *Building and Environment*, 113, 39–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.028>

Sarey Khanie, M. (2015). *Human Responsive Daylighting in Offices: a Gaze-driven Approach for Dynamic Discomfort Glare Assessment*. Ecole polytechnique federale de Lausanne. <http://thedaylightsite.com/human-responsive-daylighting-in-offices/>

Sarey Khanie, M., Stoll, J., Mende, S., Wienold, J., Einhäuser, W., y Andersen, M. (2013). *Uncovering relationships between view direction patterns and glare perception in a daylight workspace*. https://www.researchgate.net/publication/280728553_Uncovering_relationships_between_view_direction_patterns_and_glare_perception_in_a_daylit_workspace

Sharam, L. A., Mayer, K. M., y Baumann, O. (2023). Design by nature: The influence of windows on cognitive performance and affect. *Journal of Environmental Psychology*, 85, 101923. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101923>

Shin, J. Y., Yun, G. Y., y Kim, J. T. (2012). Evaluation of daylighting effectiveness and energy saving potentials of light-pipe systems in buildings. *Indoor and Built Environment*, 21(1), 129–136. <https://doi.org/10.1177/1420326X11420011>

Suk, J. Y., Schiler, M., y Kensek, K. (2016). Absolute glare factor and relative glare factor based metric: Predicting and quantifying levels of daylight glare in office space.

Energy and Buildings, 130, 8–19. <https://thuvien.huce.edu.vn/kiposdata1/baotapchi/Tapchinuocngoai/Energy%20and%20Buildings/Energy%20and%20Buildings.Vol%20130.A3.pdf>

Tsao, L.-J. (2008). Driver drowsiness detection and warning under various illumination conditions. Master Tesis. *Institute of Computer Science and Information Engineering National Central University Chungli*.

Wienold, J., y 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. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778806000715>

Wienold, J., Iwata, T., Sarey Khanie, M., Erell, E., Kaftan, E., Rodriguez, R. G., Yamin Garretón, J. A., Tzempelikos, T., Konstantzos, I., Christoffersen, J., y others. (2019). Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. *Lighting Research & Technology*, 51(7), 983–1013. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1477153519826003>

Yamin Garretón, J. A., Rodriguez, R. G., y Pattini, A. E. (2016). Glare indicators: an analysis of ocular behaviour in an office equipped with venetian blinds. *Indoor and Built Environment*, 25(1), 69–80. <https://doi.org/10.1177/1420326X14538082>

Yamin Garretón, J., Rodriguez, R. G., Ruiz, A., y Pattini, A. E. (2015). Degree of eye opening: A new discomfort glare indicator. *Building and Environment*, 88, 142–150. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132314003631>

Yan, G., y Grishchenko, I. (2022). *MediaPipeFace Landmark*. https://www.researchgate.net/publication/364279614_MediaPipe's_Landmarks_with_RNN_for_Dynamic_Sign_Language_Recognition