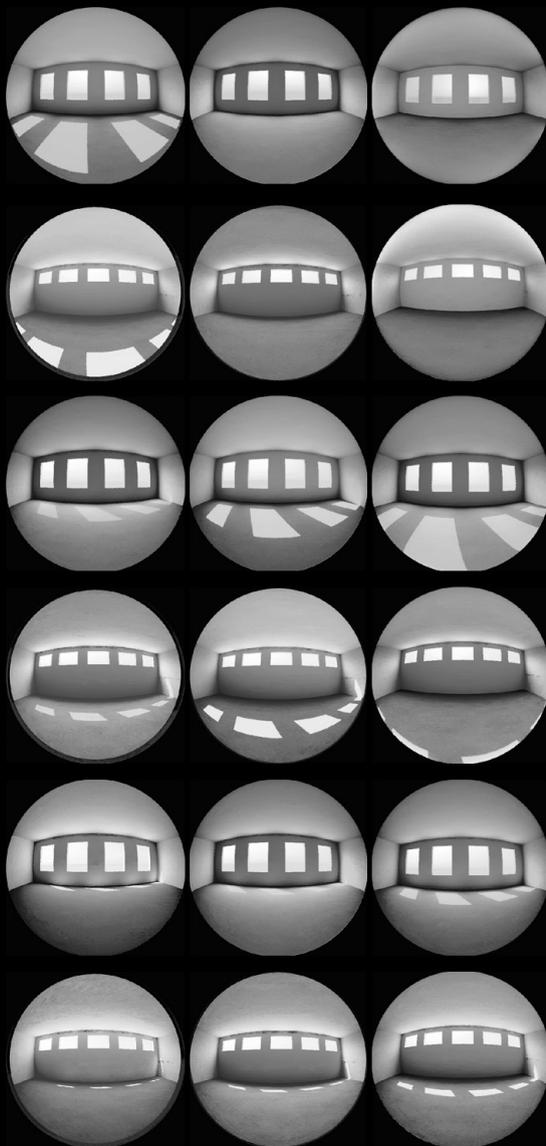


3

Configuración del ambiente luminoso seguro en salas de exposición.

Evaluación dinámica del confort lumínico y visual



ESP La iluminación natural aporta importantes beneficios en los espacios arquitectónicos, otorga dinamismo y enriquece la experiencia de los ocupantes en los aspectos de salud y comodidad lumínica y visual mientras promueve la sustentabilidad energética. Sin embargo, los recintos de exposición de arte sostienen una relación compleja con la iluminación diurna, cuya variabilidad provoca problemas respecto de su control, entre estos, el potencial deslumbramiento de los ocupantes y el riesgo para la conservación de las obras por sobreexposición lumínica.

En esta investigación se exploran las características lumínicas de estos espacios en las ciudades de Arica, Santiago y Punta Arenas para conformar un ambiente luminoso que permita resguardar las obras sin faltar al bienestar de los visitantes. Conforme a los hallazgos de la investigación, los indicadores que muestran mejores resultados para lograr un ambiente luminoso confortable fueron $UDI_{100-3000lux}$ y $ASE_{1000/250horas}$. Para calificar el confort visual se evaluó el indicador DGP (*Daylight Glare Probability*), además de los indicadores modificados $UDI_{0-200lux}$ y $ASE_{1000/0horas}$ para evaluar la seguridad lumínica de las obras. A partir del análisis de resultados, se concluyó que, para la exposición pictórica, el factor clave fue el rango de iluminancia tolerado hasta 200 lux (IESNA, 2011), que excluye la luz solar directa aceptando un porcentaje DGP imperceptible.

ENG **Safe luminous spaces configuration in exhibit rooms. Dynamic evaluation of the visual and lighting comfort**

Daylighting provides significant benefits in architectural spaces, providing dynamism and enhancing the experience of the occupants in terms of wellbeing, health, and luminous and visual comfort; while leveraging energy sustainability. However, art exhibits have a difficult relationship with sunlight, as its variability makes for complications to control it, such as potential glare to occupants and artwork conservation issues due to overexposure to light.

In this research I explore the luminous qualities of such spaces in Arica, Santiago and Punta Arenas to create a luminous ambience that allows for the artwork preservation without affecting the wellbeing of visitors. Through the measure of dynamic daylight metrics, findings show the best results to attain a comfortable luminous ambient were $UDI_{100-3000lux}$ and $ASE_{1000/250hours}$. The daylight Glare Probability (DGP) index was used to rate human visual comfort, along with the $UDI_{0-200lux}$ and $ASE_{1000/0hours}$ modified metrics which allowed to rate the luminous security for artwork. From the results' analysis, I concluded that the key factor is illuminance range max tolerance of 200 lux (IESNA, 2011), excluding direct daylight, accepting an imperceptible DGP percentage.



Autoras

Lic. Arq. Javiera Ignacia Aravena Riffo

Dra. Arq. Jeannette Auristela Roldán Rojas

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad de Chile

Chile

Email: javiera.aravena.r@ug.uchile.cl

jroldan@uchilefau.cl

Palabras clave: Iluminación natural, clima, simulación, galerías de arte, conservación.

Keywords: daylighting, climate, simulation, exhibits, conservation.

Artículo recibido: 31 / 03 / 2022

Artículo aceptado: 19 / 05 / 2022

CÓMO CITAR

Aravena Riffo, J., & Roldán Rojas, J. (2022).

Configuración del ambiente luminoso seguro

en salas de exposición. *ARQUISUR Revista*,

12(22). <https://doi.org/10.14409/ar.v12i22.11097>

ARQUISUR REVISTA

AÑO 12 | N° 21 | JUN 2022 – NOV 2022 | PÁG. 48 – 63

ISSN IMPRESO 1853-2365

ISSN DIGITAL 2250-4206

DOI <https://doi.org/10.14409/ar.v12i22.11097>



INTRODUCCIÓN

La luz natural en ambientes interiores aporta a la creación de espacios saludables y cómodos para los ocupantes, donde destaca por sus beneficios sobre los aspectos biológicos y visuales del ser humano e influye en el ritmo circadiano, el estado de ánimo y la capacidad de concentración, mientras propicia un ambiente lumínico dinámico que permite a las personas reconocer el paso del día y evitar la fatiga visual (Alrubaih *et al.*, 2013:495; Wirz-Justice *et al.*, 2021:2).

En los recintos de exhibición, la iluminación natural posee ventajas debido a su excelente índice de rendimiento cromático (IRC) para exponer las obras de manera fidedigna, sumado a su disponibilidad libre de consumo energético y económico (Yu y Su, 2015:495). Sin embargo, la luz diurna también actúa acelerando el proceso natural de deterioro de las obras expuestas, provoca daño fotoquímico con efectos irreversibles a largo plazo. Ante esto, las organizaciones y profesionales priorizan mantener el buen estado de las exposiciones y se da un vuelco hacia la luz artificial como fuente luminosa primaria, ya que se controla más fácilmente, lo cual provoca un desaprovechamiento de los beneficios que conlleva la luz natural en estos espacios para los visitantes y para la apreciación de las obras (Fathy *et al.*, 2020:674).

En esta investigación se busca indagar sobre los factores que propician un ambiente lumínico equilibrado entre confort lumínico y visual humano en conjunto con la conservación de las obras con el fin de promover la utilización de la iluminación natural y sus beneficios en los espacios de exposición. Se realizaron simulaciones lumínicas para evaluar los indicadores dinámicos de iluminación natural a través de la aplicación convencional y adaptada al contexto de los espacios expositivos, los cuales posibilitan comprender la influencia de los diversos contextos climáticos y variables de diseño sobre el ambiente lumínico.

1. Ambiente luminoso para la apreciación de las obras de arte

Para propiciar el confort lumínico en recintos de exhibición se deben considerar la direccionalidad y la distribución de la luz, la presencia de molestias en el campo visual y los niveles de iluminancia (Preto y Gomes, 2016:550). Uno de los mayores problemas en recintos de exposición es el ingreso de la luz solar directa, lo cual es altamente riesgoso para cualquier tipo de obra y puede generar molestias para apreciar las obras (Varzgani, 2015:12; Wahab y Zuhardi, 2013: 479).

Las propiedades ópticas de las superficies también juegan un rol importante en el ambiente lumínico, mientras los colores claros permiten una mejor distribución de la luz interior, la reflectancia puede influir de manera positiva o negativa, ya que los reflejos de la luz artificial o natural pueden generar brillos molestos (Preto y Gomes, 2016:550; Wahab y Zuhardi, 2013:480).

Para preservar las obras de la exposición lumínica, los niveles de iluminancia en los espacios de exposición tienden a los 30 a 50 lux, lo que asegura las condiciones mínimas para la visión humana y, si bien los factores de relevancia como la percepción cromática y la discriminación del color se ven favorecidos por mayores niveles de iluminación (Saunders, 2020:33), los estudios permiten afirmar que los visitantes a exhibiciones de arte prefieren niveles entre los 200 a 600 lux (Szabó *et al.*, 2017:51).

La tipología y posición de los vanos en los planos verticales o superiores del recinto influyen sobre la distribución lumínica en interiores. El vano lateral es la tipología más observada en las salas de exposiciones nacionales, considerando ventanas laterales, claristorios y ventanas inferiores.

Las ventanas laterales proporcionan una conexión visual con el exterior y sus altos niveles de iluminación y efectos de sombras pronunciadas benefician la exposición escultórica. Sin embargo, pueden propiciar una intensidad inadecuada de la iluminación para las obras más sensibles e incomodidad visual a los ocupantes debido a los contrastes lumínicos y al ingreso directo de la luz. Para las exhibiciones pictóricas, reducen la superficie de soporte y, si se ubican enfrente a las obras, pueden generar reflejos que dificultan su correcta apreciación (Adewale *et al.*, 2020:2319; Iordanidou, 2017:28).

Los claristorios tienen menos posibilidades de producir incomodidad por deslumbramiento o sombras molestas (Iordanidou, 2017:30; Varzgani, 2015:11), no obstante, la zona bajo la apertura puede crear un contraste lumínico excesivo y existe el riesgo de que, si la altura del recinto no es suficiente, en consecuencia, la luz directa ingrese hasta la superficie de exposición del plano opuesto. Por su parte, las ventanas inferiores permiten aprovechar la reflexión de la luz en el piso para distribuir la iluminación hacia el interior a través de la utilización de superficies reflectantes de colores claros (Guimaraes, 2018:22).

Categoría	Materiales	Exposición máxima (lux)	Exposición máxima acumulativa (lux/año)
Altamente sensible	Libros, botánica, especímenes, plumas, textiles, dibujos, tintes fugitivos, pieles, escritos, papeles, ciertas pinturas, ciertos minerales, acuarelas.	50	150000
Baja sensibilidad	Huesos, marfil, barnices, cuero, pinturas al óleo, ciertos plásticos, fotografías, pinturas en ténpera, textiles con tintes estables y acabados en madera	200	600000
No sensibles	Cerámicas, cristales, joyas, esmaltes, metales, la mayoría de los minerales, piedra y madera	1000	Sin restricción

TABLA 1 | Clasificación de materiales IESNA 2011. Fuente: elaboración propia, información extraída de (Al-sallal *et al.*, 2018:336).

2. Iluminación como factor de riesgo para la conservación de las obras

La luz acelera el deterioro material actuando como catalizador del proceso de oxidación. A largo plazo, toda luz provoca deterioro a las obras y, dado que la luz es indispensable para observar, debemos asumir que, mientras una obra pueda ser vista, se está deteriorando.

Para los profesionales, es de mayor preocupación el daño fotoquímico (Benítez *et al.*, 2016:5), el cual se genera a partir de una reacción química por la absorción de fotones, modifica la estructura molecular de los materiales y provoca debilitamiento y desvanecimiento o alteraciones en los colores de las obras (Iourdanidou, 2017:24; Mayorga, 2018:80).

Los estándares y guías de iluminación buscan exponer las obras de arte de forma sostenible, procurando que puedan exhibirse en óptimas condiciones por más tiempo. Estos lineamientos emanan directamente desde la conservación, por lo que suelen establecer niveles de iluminancia que no consideran los requerimientos y comodidad de los ocupantes.

En la Tabla 1 se observa el estándar de uso extendido planteado por la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) en 2011, el cual se basa en la sensibilidad material, la exposición máxima fija y acumulativa anual (Saraiva *et al.*, 2019:1).

Al considerar los estándares en el contexto chileno, se debe comprender que estos valores emanan desde otros contextos climáticos. La clasificación considera 8 horas de luz día durante 125 días de exposición para proponer la exposición máxima acumulativa (Del Hoyo-Meléndez, 2011:55); sin embargo, en Chile las horas de luz día oscilan entre 13,3 hasta sobre 15 al 21 de diciembre y entre 8,5 a 10,5 horas al 21 de junio

(NCh 1079, 2008:8-10), en tanto una exhibición iluminada naturalmente sin control solar podría estar expuesta a un daño mayor y más temprano.

La clasificación considera 8 horas de luz día durante 125 días de exposición para proponer la exposición máxima acumulativa (Del Hoyo-Meléndez, 2011:55). En esta investigación, según lo observado en metodologías aplicadas para el mismo contexto, se consideraron 10 horas de ocupación diaria durante los 365 días del año.

3. Confort lumínico y visual: evaluación a través de los indicadores dinámicos de la iluminación natural

El confort lumínico se basa en la ocurrencia de niveles de iluminancia que sean útiles para el ocupante considerando las tareas visuales que se debe ejercer según el contexto que se estudia y los requerimientos a los que se relaciona.

Los indicadores dinámicos de la iluminación natural son metodologías de evaluación que permiten conocer la disponibilidad y comportamiento de la luz diurna al interior del espacio, basándose en criterios de confort lumínico obtenidos a través de encuestas de comodidad (Mardaljevic *et al.*, 2009:6-8).

Desde el año 2000, John Mardaljevic explora la simulación de desempeños lumínicos al interior de los recintos considerando un período anual. En consecuencia, se comenzó a ejecutar simulaciones a través de software, utilizando bases de datos meteorológicos y modelos de cielo con diversas condiciones luminosas. Con el avance de las investigaciones se logró definir rangos de iluminación confortable a través de procesos experimentales que probaron la tolerancia de las personas a los distintos niveles de iluminancia de forma contextualizada (Heschong *et al.*, 2012:54-58).

DGP	Imperceptible	Perceptible	Perturbador	Intolerable
	≤0.35	0.35 - 0.40	0.40 - 0.45	≥ 0.45

TABLA 2 | Calificación DGP. Fuente: elaboración propia.

Nabil y Mardaljevic (2005) validaron el indicador del desempeño lumínico, *Useful Daylight Illuminance* (UDI) que identifica un rango base de iluminancia útil entre 100 a 3000 lux según la confortabilidad de los ocupantes en espacios de oficina.

Al-Sallal *et al.* (2018:352-354) interpretan los resultados UDI en base a la exposición lumínica máxima según los estándares de conservación. Evalúan el rango UDlo-100lux como idóneo para las obras más sensibles y utilizan la visualización espacial de los resultados para sugerir ubicación de los objetos de tal categoría. La baja ocurrencia UDlo-100lux en comparación a un rango UDI_{500-2000lux} al 94% les permite concluir que un espacio no es seguro para obras alta y medianamente sensibles, en cambio, un espacio con UDlo-100lux 21% se puede considerar seguro en algunos tramos para el mismo tipo de exposición.

Annual Sunlight Exposure (ASE), introducido en la guía LM-83 de la IES (2012), se enfoca en la evaluación del confort lumínico en torno a la incidencia de la luz solar directa durante las horas de ocupación anuales. Si bien el indicador se basa en la iluminancia, se plantea que un ASE_{1000/250horas} sobre el 10% podría sugerir riesgo de deslumbramiento, resultando en incomodidad visual.

Fathy *et al.* (2020:667) establecen como umbral de iluminancia la exposición lumínica máxima sobre o horas (ASE_{150/0horas}) y lo evalúan utilizando un plano de medición vertical para la superficie de exposición de las obras, para procurar que nunca se sobrepasen los niveles permitidos.

No obstante, la creación de un ambiente lumínico óptimo en los interiores no depende solo de los niveles de iluminancia para realizar la tarea visual, se requiere de una caracterización integral que considere la comodidad visual de los ocupantes y evite el deslumbramiento y la presencia de contrastes que puedan provocar fatiga visual (Mardaljevic *et al.*, 2009:8).

El confort visual se define como la situación en la cual no se constata incomodidad, irritación o distracción en la percepción visual (Behrens, 2012:24). A diferencia del confort lumínico, se basa en el brillo luminoso medido en luminancia (cd/m²) y se relaciona con la interacción de la luz con el ojo humano.

Wienold y Christoffersen (2006) desarrollaron un método de predicción del deslumbramiento y dieron paso al indicador *Daylight Glare Probability* (DGP), que se expresa según rangos de calificación (Tabla 2).

Debido a que no existe una norma única de aplicación, Al-sallal *et al.* (2018:354) sugieren considerar el peor escenario, ubicando la cámara frente a las aperturas, para evaluar la situación provocada por la alta luminancia de las ventanas como fondo de la exhibición y su potencial riesgo de deslumbramiento.

METODOLOGÍA

En una primera etapa se recopiló información sobre las características de la luz natural, el confort lumínico/visual humano en una sala de exposiciones, la conservación de las obras de arte y las herramientas disponibles para evaluar el ambiente lumínico.

En una segunda etapa se realizó una búsqueda entre más de 200 salas de exposición a nivel nacional y se seleccionaron finalmente 18 salas de exposición pictórica que incorporan luz natural, las cuales fueron visualizadas en fichas resumidas en las Tablas 3 y 4.

Sobre la base de la muestra de este registro se detectó que las salas habitualmente fueron rehabilitaciones de espacios preexistentes de planta rectangular, con gran variabilidad en sus tamaños, y presentaron desde dimensiones equivalentes a una habitación hasta alturas y profundidades propias de edificaciones de los siglos XVIII al XX. No se observaron modificaciones espaciales o estructurales relevantes.

No se incluyó la iluminación cenital por escasos registros de salas de exposición pictórica que la utilizaran, lo cual contrasta los casos europeos observados en investigaciones similares y sugiere una mayor pertinencia de las aperturas laterales en los contextos climáticos de Chile.

A partir del registro se construyó un modelo considerando las características cualitativas (orientación y tipo de apertura) más frecuentes de las salas apelando a evaluar las situaciones más críticas, lo que se complementa con datos de la Norma Chilena 1079 (2008).

Para las variables cuantitativas (dimensiones del volumen y aperturas) se utilizaron los valores promedio y de media acotada para los casos en que el promedio

Nombre de sala	Antecedentes	Isométrica	Ingreso de luz
Galería Homero Martínez Salas	Ovalle	30,6° S	Enlace: https://ibb.co/Bws7CxR
	Iluminación lateral	a = 2,6 m	
	Obra Nueva	l = 20,5 m	
	Primer nivel	h = 3,1 m	
Sala Lukas Museo Lukas	Valparaíso	33° S	Enlace: https://ibb.co/3Mszpxt
	Iluminación lateral	a = 4,5 m	
	Rehabilitación	l = 14,9 m	
	Segundo nivel	h = 3,9 m	
Casa Nekoe	Valparaíso	33° S	Enlace: https://casanekoe.wordpress.com/
	Iluminación lateral	a = 4,4 m	
	Rehabilitación	l = 3,9 m	
	Primer nivel	h = 3,5 m	
Sala de exposiciones Centro Cultural San Antonio	San Antonio	33,5° S	Enlace: https://ibb.co/V2hRxt0
	Iluminación lateral	a = 10,5 m	
	Obra Nueva	l = 8,4 m	
	Primer nivel	h = 3,5 m	
Sala Galería NAC	Santiago	33,3° S	Enlace: https://bit.ly/3ra6FeJ
	Iluminación lateral	a = 7 m	
	Obra nueva	l = 12 m	
	Primer nivel	h = 2,8 m	
Sala 03 Museo Ralli	Santiago	33,3° S	Enlace: https://bit.ly/3HdKMRw
	Iluminación lateral	a = 7,6 m	
	Obra nueva	l = 7,9 m	
	Primer nivel	h = 3 m	
Sala 08 Museo Ralli	Santiago	33,3° S	Enlace: https://bit.ly/3HdKMRw
	Iluminación lateral	a = 11 m	
	Obra nueva	l = 7,9 m	
	Primer nivel	h = 3 m	
Sala 09 Casa Museo Santa Rosa de Apoquindo	Santiago	33,3° S	Enlace: https://bit.ly/3ILGFgm
	Iluminación lateral	a = 8,85 m	
	Rehabilitación	l = 4,3 m	
	Primer nivel	h = 4,6 m	
Sala 2 Galería D21	Santiago	33,4° S	Enlace: https://www.d21virtual.cl/
	Iluminación lateral	a = 4,9 m	
	Rehabilitación	l = 4 m	
	Primer nivel	h = 2,4 m	

TABLA 3 | Tabla de aspectos Salas de Exposiciones.
Fuente: elaboración propia.

Nombre de sala	Antecedentes	Isométrica	Ingreso de luz
Sala Posada del corredor	Santiago	33,4° S	Enlace: https://bit.ly/32GTCrW
	Aperturas laterales	a = 5,9 m	
	Rehabilitación	l = 10,34 m	
	Segundo nivel	h = 3 m	
Sala 2 Galería de Arte Contemporáneo Gabriel Mistral	Santiago	33,4° S	Enlace: https://bit.ly/3gb4st7
	Iluminación lateral	a = 13,22 m	
	Rehabilitación	l = 6,7 m	
	Primer nivel	h = 3,8 m	
Sala Gasco de Arte Contemporáneo	Santiago	33,4° S	Enlace: https://bit.ly/3u7LvAD
	Iluminación lateral	a = 6,5 m	
	Rehabilitación	l = 17,38 m	
	Primer nivel	h = 5,27 m	
Sala Marta Colvin Centro de extensión UBB	Chillán	36,6° S	Enlace: https://bit.ly/3o5CzHu
	Iluminación lateral	a = 6,79 m	
	Rehabilitación	l = 17,38 m	
	Primer nivel	h = 5,27 m	
CECAL UDEC	Chillán	36,6° S	Enlace: https://www.cecal.udec.cl/
	Iluminación lateral	a = 16,1 m	
	Rehabilitación	l = 3,12 m	
	Primer nivel	h = 3 m	
Sala 04 Pinacoteca de Valdivia	Valdivia	39,8° S	Enlace: https://bit.ly/3glauK9
	Iluminación lateral	a = 2,64 m	
	Rehabilitación	l = 3,12 m	
	Primer nivel	h = 3 m	
Sala de Artes Visuales CAMM	Puerto Varas	41,3° S	Enlace: https://bit.ly/34hFG7Z
	Iluminación lateral	a = 11,4 m	
	Rehabilitación	l = 12,4 m	
	Segundo nivel	h = 2,4 m	
Sala Centro Cultural de Coyhaique	Coyhaique	45,5° S	Enlace: https://bit.ly/3l1kBo
	Iluminación lateral	a = 15 m	
	Rehabilitación	l = 5,77 m	
	Primer nivel	h = 3,5 m	
Sala Fundación Los Andes MAM	Castro	42,5° S	Enlace: https://bit.ly/3r73UuL
	Iluminación lateral/central	a = 9,7 m	
	Rehabilitación	l = 10 m	
	Primer nivel	h = 8,6 m	

TABLA 4 | Resultados evaluaciones UDI_{100-3000lux} y ASE_{1000/250horas}.
Fuente: elaboración propia.

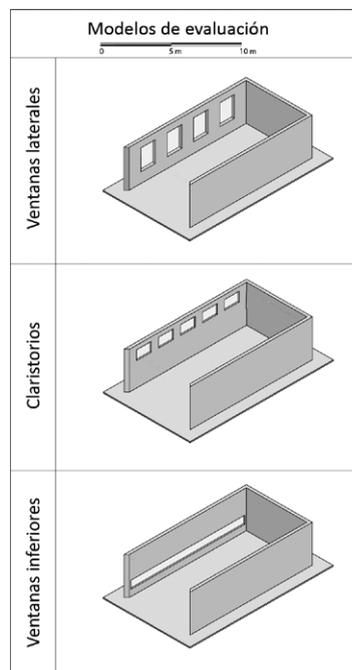


TABLA 5 | Modelos de evaluación.
Fuente: elaboración propia.

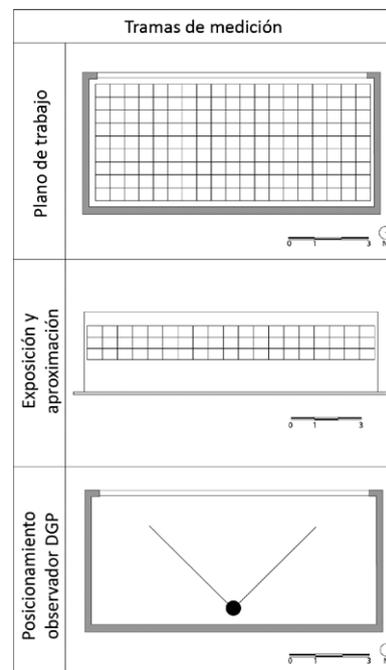


TABLA 6 | Tramas de medición. Fuente: elaboración propia.

se vio afectado por valores extremos. Para las ventanas inferiores, el dimensionamiento se basó en el caso registrado del Centro Cultural San Antonio, debido a que las aperturas tipo vitrina, si bien consideradas inferiores por su cercanía al suelo, incluso excedían a las ventanas laterales en superficie.

Respecto de las condiciones de borde se determinó utilizar las propiedades ópticas de las superficies estandarizadas por la CIE, considerando 50% de reflectividad para los muros, 20% para el piso y 80% para el cielo. Para las dimensiones del modelo a partir de la muestra se definió un espacio de planta rectangular de 11,2 m de largo, 5,8 m de ancho y 3,6 m de altura; se consideró un espesor de muro 0,25 m y las aperturas se ubicaron unilateralmente en el muro norponiente (ver Tabla 5). Para todas las simulaciones se utilizó el vidrio con una transmitancia de 89%.

En relación con las variables a modificar para la simulación, se emplazaron en Arica, Santiago y Punta Arenas, dado que son las ciudades que contaron con más visitas a recintos de exhibición (Observatorio de políticas culturales, 2019:25).

Para las evaluaciones anuales se consideraron 365 días con un horario de ocupación de 9 a.m a 6 p.m, y para las evaluaciones puntuales como iluminancias promedio se determinó evaluar los dos solsticios más el equinoccio de primavera en tres horarios importantes para la trayectoria solar: 9 a.m, 12 m y 3 p.m.

Se utilizaron tres planos de medición según la información de las referencias analizadas: el plano de trabajo y de aproximación enfocados al análisis del confort lumínico del ocupante, plano de exposición enfocado en la seguridad lumínica de las obras y evaluación DGP para el confort visual (ver Tabla 6).

RESULTADOS

Se evalúa el confort lumínico para los ocupantes en los planos de trabajo (horizontal) y de aproximación (vertical, paralelo a la superficie de exposición) aplicando los indicadores $UDI_{100-300lux}$ y $ASE_{1000/250horas}$. (Tabla 07)

Se identifica una relación entre el aumento del indicador $ASE_{1000/250horas}$ y la disminución del desempeño de $UDI_{100-300lux}$, lo cual demuestra que las iluminancias por sobre el rango confortable se deben a la sobre exposición causada por la incidencia directa de la luz solar.

Observado según la tipología de apertura, las ventanas laterales y claristorios mostraron un menor desempeño general $UDI_{100-300lux}$ en las tres ciudades,

cayeron al 40% junto a las aperturas en el eje transversal y presentaron continuas alzas de $ASE_{1000/250horas}$ en el eje longitudinal, lo que indica un mayor ingreso de la luz directa hacia el plano de trabajo, causado por el área de las fenestraciones y su altura. Por otro lado, las ventanas inferiores cumplen un desempeño $UDI_{100-300lux}$ entre 40 y 70% próximo a las aperturas en el eje transversal, pero recuperan rápidamente el rendimiento eficiente diurno hasta por sobre 85% y no presentan luz solar directa en el eje longitudinal de manera significativa, lo que posibilita que una mayor superficie de la sala se mantenga dentro del rango de iluminancia útil.

Para los planos de aproximación la evaluación de estos indicadores en el plano suroriente (opuesto a las aperturas) arroja una disminución en el desempeño del indicador $UDI_{100-300lux}$ hacia el centro de la sala utilizando ventanas laterales y claristorios, lo cual se agudiza en las ciudades de Santiago y Punta Arenas con las primeras aperturas a causa de la menor altura solar y mayor superficie de la fenestración. Por otra parte, para los planos nororiente y surponiente, se reitera lo ocurrido en el plano de trabajo, donde ambas aperturas alcanzan un desempeño $UDI_{100-300lux}$ 30% junto a las fenestraciones. A diferencia de lo observado en Arica, para Santiago y Punta Arenas, tal caída muestra una directa relación con el aumento de las horas de luz solar directa según lo indica la evaluación $ASE_{1000/250horas}$.

Para las ventanas inferiores se observa un satisfactorio rendimiento constante de $UDI_{100-300lux}$ por sobre 90% en todos los emplazamientos y planos evaluados, a excepción de una disminución observada en el plano norponiente. En contraste con lo ocurrido con las otras aperturas, la baja en el desempeño se debe a iluminancias bajo los 100 lux. Dado el contexto de baja tolerancia lumínica en espacios de exposición y debido a que mantiene un desempeño sobre 80%, podrían seguir considerándose útiles. (Tabla 8)

Con el fin de indagar en el confort visual del ocupante, se evaluaron dos metodologías para el riesgo de deslumbramiento basadas en un observador estratégico, Glare Chart y DGP, ambas disponibles en Lighstanza. (Tabla 9)

Según los resultados de Glare Chart, se observa que el potencial riesgo de deslumbramiento para las ventanas laterales y claristorios se produce en las épocas del año de menor altura solar, considerando desde abril a septiembre. La latitud geográfica de cada emplazamiento influye sobre el horario en el cual se detecta un

Plano de trabajo	Arica		Santiago		Punta Arenas	
	UDI 100-3000 lux	ASE 1000/250 hrs	UDI 100-3000 lux	ASE 1000/250 hrs	UDI 100-3000 lux	ASE 1000/250 hrs
NO						
SO						
Aperturas	..... Ventanas inferiores		- - - - - Claristorios		———— Ventanas laterales	

TABLA 7 | Resultados evaluaciones UDI_{100-3000lux} y ASE_{1000/250horas}. Fuente: elaboración propia.

Planos de aproximación	Arica		Santiago		Punta Arenas	
	UDI 100-3000 lux	ASE 1000/250 hrs	UDI 100-3000 lux	ASE 1000/250 hrs	UDI 100-3000 lux	ASE 1000/250 hrs
NO						
SO						
SP						
NP						
Aperturas	..... Ventanas inferiores		- - - - - Claristorios		———— Ventanas laterales	

TABLA 8 | Resultados evaluaciones UDI_{100-3000lux} y ASE_{1000/250horas}. Fuente: elaboración propia.

Glare Chart	Arica		Santiago		Punta Arenas	
	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic	Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic

TABLA 9 | Resultados riesgo de deslumbramiento anual, Glare Chart. Fuente: elaboración propia.

riesgo de deslumbramiento, siendo más tarde para la ciudad de Arica, con un índice intolerable desde las 4 p.m, a diferencia de Punta Arenas, donde aquel rango se detecta desde la 1 p.m. Las ventanas laterales arrojan una continuidad del índice intolerable durante las tardes, lo cual se agudiza en el contexto climático de Arica debido a la mayor incidencia e intensidad solar.

Por otra parte, las ventanas inferiores no arrojan un potencial riesgo de deslumbramiento por sobre el índice imperceptible, lo cual se explica por su baja altura en el muro, que no permite la entrada de luz solar directa por tiempos prolongados y porque no cuenta con vistas hacia el exterior que puedan producir contrastes molestos de los niveles de iluminación.

El confort visual según la evaluación de DGP a través de renderizaciones de luminancia a las 3 p.m para las dos aperturas con mayor potencial de deslumbramiento muestra que, para la ciudad de Arica, el solsticio de invierno presenta riesgos de deslumbramiento indirecto debido a la alta reflexión de la luz solar directa en el piso del recinto. Similar causa se da en la ciudad de Santiago, donde se registra un índice perceptible para ambas aperturas al equinoccio de primavera y en Punta Arenas para la sala con ventanas laterales en la misma fecha.

En el solsticio de invierno, el caso de mayor intensidad luminosa se registra en la evaluación con ventanas laterales en Punta Arenas, donde, debido a la menor altura solar, la luz llega al ojo del ocupante, lo que provoca un deslumbramiento directo con un índice DGP de 0,74 (Intolerable). (Tabla 10)

Con el fin de evaluar la seguridad de las obras, se aplica $ASE_{1000/0horas}$, una versión modificada del indicador $ASE_{1000/250horas}$, similar a los criterios utilizados por Fathy *et al.* (2020:667) para detectar la llegada de luz solar directa hacia los planos de exposición. (Tabla 11)

Para las evaluaciones con ventanas laterales y claristorios en las tres ciudades se observa que el muro nororientado está constantemente expuesto entre 100 y 200 horas de luz solar directa, concentrándose en el sector de superficie más cercano a las aperturas, volviéndolo no apto para la exposición de pinturas.

Específicamente en Punta Arenas, la menor altura solar provoca niveles de exposición solar directa en los muros surorientado y surponiente, siendo el punto más alto las casi 300 horas de exposición registradas en este último.

A pesar de que cuentan con menos superficie de fenestración, los resultados para todos los emplazamientos con utilización de claristorios alcanzan hasta

el doble de horas de exposición con ventanas laterales, debido a que su ubicación en el muro permite que se reciba luz directa durante gran parte de la trayectoria solar diaria. En tanto, para evitar el ingreso directo de la luz solar los claristorios presentan la opción menos adecuada.

Por último, las ventanas inferiores muestran un mejor desempeño debido a su ubicación en el muro y protegen todos los planos expositivos de la luz solar directa.

En los recintos de exhibición, los estándares de conservación para obras pictóricas (IESNA, 2011) permiten una exposición máxima de 200 lux. Por otro lado, la revisión bibliográfica demuestra que los ocupantes manifiestan incomodidad y dificultad para apreciar la obra con niveles de iluminación inferiores (Szabó *et al.*, 2017:52).

Para conocer la ocurrencia de niveles de iluminación seguros se evalúa $UDI_{0-200horas}$. (Tabla 12)

La ocurrencia de iluminancias dentro del rango $UDI_{0-200lux}$ es menor a 25% para todas las situaciones evaluadas, lo cual indica que ninguna apertura sin control solar propicia un ambiente lumínico seguro. Sin embargo, las ventanas inferiores muestran mejor rendimiento $UDI_{0-200lux}$, y se indaga evaluando las iluminancias promedio, considerando las tres fechas claves en tres horarios (9 a.m, 12 m y 3 p.m). En primera instancia se emplaza la evaluación en Santiago, como un contexto climático intermedio en la incidencia solar. (Tabla 13)

Con posterioridad a las 9 a.m se excede de forma recurrente los 200 lux durante las fechas que representan épocas de mayor incidencia solar (septiembre y diciembre). Incluso el plano norponiente, que cuenta con menores niveles de iluminación dado que se encuentra en el mismo muro que las ventanas inferiores, supera los 500 lux al 21 de septiembre.

Ya que Arica cuenta con niveles más altos de radiación solar que Santiago, se asume que la situación es aún más insegura para las obras. En cambio, en Punta Arenas los niveles generales de iluminación tienden a ser más bajos, por lo cual se realiza la misma evaluación, para detectar si aquel factor propicia un ambiente lumínico más seguro. (Tabla 14)

Se comprueba que, para Punta Arenas, en el solsticio de invierno se mantienen mediciones por sobre 200 lux, mientras que en septiembre disminuyen en comparación a Santiago, pero sostienen registros inseguros sobre 500 lux.

Renderización DGP		Arica	Santiago	Punta Arenas
21 de junio (Solsticio de invierno) 3 p.m		 0.45	 0.26	 0.74
		 0.39	 0.27	 0.29
21 de septiembre (Equinoccio de primavera) 3 p.m		 0.35	 0.41	 0.43
		 0.32	 0.38	 0.38
21 de diciembre (Solsticio de verano) 3 p.m		 0.34	 0.36	 0.40
		 0.30	 0.34	 0.34

TABLA 10 | Renderización DGP.
Fuente: elaboración propia.

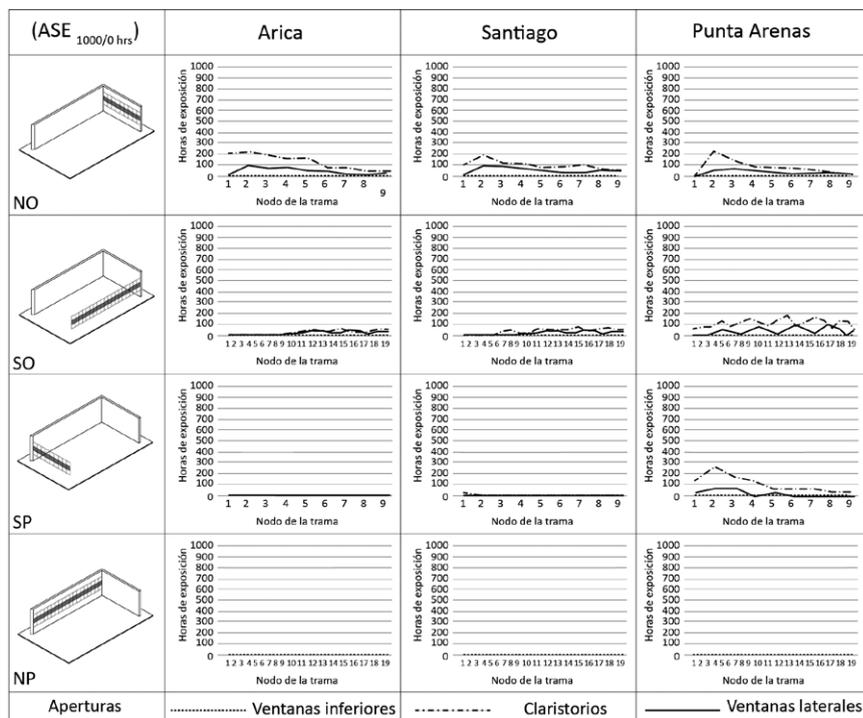


TABLA 11 | Resultados ASE_{1000/0horas}. Fuente: elaboración propia.

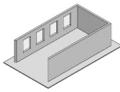
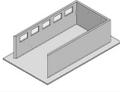
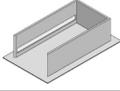
UDI 0-200 lux	Arica	Santiago	Punta Arenas
	1,77%	6,06%	13,24%
	3,78%	8,65%	16,48%
	11,68	24,74%	23,87%

TABLA 12 | Resultados UDI_{0-200lux}. Fuente: elaboración propia.

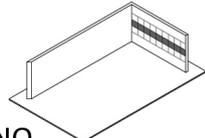
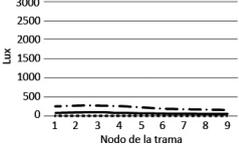
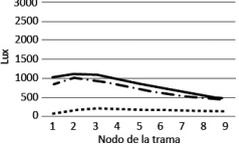
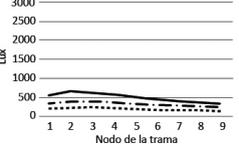
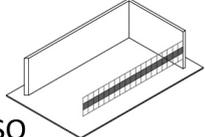
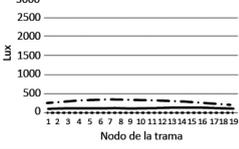
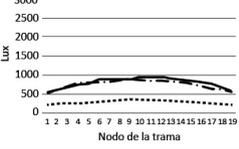
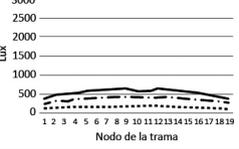
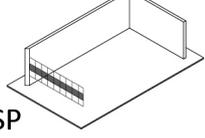
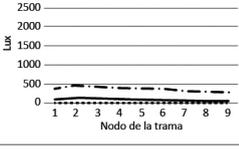
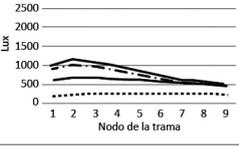
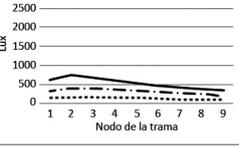
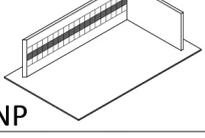
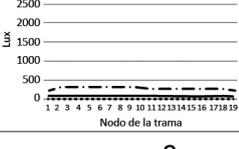
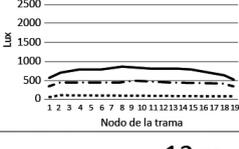
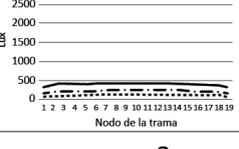
Iluminancia promedio ventanas inferiores	Santiago		
	21 de junio	21 de septiembre	21 de diciembre
NO 			
SO 			
SP 			
NP 			
Horarios	..... 9 a.m	----- 12 m	———— 3 p.m

TABLA 13 | Resultados de medición de iluminancia promedio. Fuente: elaboración propia.

Iluminancia promedio ventanas inferiores	Punta Arenas		
	21 de junio	21 de septiembre	21 de diciembre
<p>NO</p>			
<p>SO</p>			
<p>SP</p>			
<p>NP</p>			
Horarios	..... 9 a.m	----- 12 m	———— 3 p.m

TABLA 14 | Resultados de iluminancias promedio. Fuente: elaboración propia.

Para diciembre se observa un alza en los niveles de iluminancia registrados en los planos nororiente, suroriente y sur poniente, en los horarios más cercanos al medio día solar, donde se registran los niveles más altos entre las evaluaciones realizadas, mientras que excepcionalmente la evaluación a las 9 a.m. supera los 500 lux. Tal comportamiento se explica por las condiciones climáticas de Punta Arenas al solsticio de verano. El 21 de diciembre, en el hemisferio sur marca el día más largo del año, en Punta Arenas se alcanzan en promedio 17 horas de luz solar, cuando el amanecer ocurre alrededor de las 5:15 a.m y la puesta de sol pasadas las 22 horas. En tanto, la trayectoria solar más amplia provoca que exista un nivel de iluminancia mayor en comparación con los mismos horarios en otras épocas del año.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

A partir de la investigación realizada se concluye que existen tres factores jerárquicos que permiten un ambiente luminoso óptimo a partir de la utilización de la luz natural.

Lo primero, según los estándares de conservación planteados por IESNA (2011) y los estudios que sugieren la preferencia de los ocupantes por niveles mayores de iluminancias, se identifica un rango óptimo hasta 200 lux, que permite al visitante apreciar las obras pictóricas cómodamente mientras se mantiene su seguridad lumínica.

Los resultados de la evaluación del indicador UDI-200lux demuestran que, para los tres emplazamientos, las ventanas laterales, claristorios y ventanas inferiores excedieron los niveles de iluminancia al interior de la sala durante la mayor parte del año, cumpliéndose solo parcialmente al inicio de la jornada en invierno. No obstante, la variabilidad de la luz diurna genera la necesidad de aplicar consideraciones de diseño como elementos de control solar y/o la reducción del área de fenestración para cumplir con las recomendaciones de iluminación estandarizadas y permitir la utilización de luz natural en los espacios de exposición.

Frente a la exposición acumulativa, es necesario considerar que, de acuerdo con la NCh 1079-2008, en Chile las horas de luz día oscilan entre 13,3 y sobre 15 horas el 21 de diciembre y entre 8,5 a 10,5 hacia el 21 de junio. Por lo cual el daño fotoquímico podría producirse

más temprano de lo planteado en el estándar IESNA, en tanto para resguardar la seguridad de la exhibición es ideal que el sistema de control solar actúe bloqueando la luz diurna en las horas en que no se encuentre abierto el recinto a visitantes.

En segundo lugar, se identificó que la llegada de la luz solar directa era intolerable para la exposición segura de las obras, además de provocar una baja en los desempeños de los indicadores de confort lumínico. La evaluación del indicador con umbral modificado ASE_{1000/ohoras} en los planos expositivos demostró que la luz solar directa tiene relación con la ubicación de las aperturas en el plano vertical, dado que las ventanas laterales y claristorios permitieron el ingreso directo de iluminación y pusieron en riesgo la exposición pictórica en las épocas de trayectoria solar extensa. Por otra parte, la evaluación con ventanas inferiores no arrojó un ingreso directo de la luz, por lo que se concluye que una solución a este problema se encuentra en ubicar las aperturas en la zona inferior del muro.

Respecto del confort lumínico de los ocupantes ante la misma situación, la evaluación de los indicadores dinámicos UDI_{100-300lux} y ASE_{1000/25ohoras} en los planos expositivos y de trabajo confirmó que las ventanas inferiores obtuvieron el mejor desempeño, mantuvieron niveles de iluminación confortables y subsanaron el ingreso directo de la luz al plano de trabajo, ya que recuperó rápidamente el desempeño para ambos indicadores y mantuvo la mayor parte del espacio en niveles útiles de confort lumínico y visual.

En tercer lugar, se determinó que para la comodidad visual de los visitantes se debía evitar el deslumbramiento y mantener un índice DGP imperceptible, lo que indica una moderación de las intensidades lumínicas. A través de la evaluación se detectó deslumbramiento directo e indirecto en la sala. Específicamente, en Punta Arenas se evaluó un índice DGP intolerable, donde los resultados mostraron relación con el área de las fenestraciones, ya que se propició por el ingreso directo de luz durante la fecha de menor altitud solar (21 de junio) a través de las ventanas laterales que contaban con mayor superficie vidriada, este comportamiento se reiteró en las tres ciudades, donde estas ventanas mostraron el peor desempeño, superando hasta en un 45 % el riesgo de deslumbramiento de los claristorios.

Por su parte, el deslumbramiento indirecto se debió al ingreso de la luz solar al piso del recinto, lo cual sucedió con los tres tipos de apertura y en los tres emplazamientos de simulación. La revisión del riesgo de deslumbramiento anual mostró el aumento de forma proporcional con el área de las fenestraciones y la altura de las aperturas respecto del nivel del ojo, por lo cual las ventanas inferiores arrojaron el menor riesgo de deslumbramiento en las tres ciudades. En este punto se identifica la importancia de las propiedades ópticas de las superficies, ya que al alcanzar el índice DGP el rango perturbador (0,40 – 0,45) en al menos una ocasión en todos los emplazamientos se puede concluir que la reflectividad general del recinto de 50% como sumatoria de todas las superficies no fue funcional para mantener un ambiente lumínico seguro, ante lo que se sugiere una menor reflectancia de las superficies para mayor efectividad.

La aplicación de los indicadores dinámicos de la iluminación natural permite generar hallazgos en torno a los criterios planteados por otros autores y se comprueba la necesidad de modificar y adaptar los rangos y umbrales de análisis de los indicadores para compatibilizar la seguridad de la exposición pictórica con el confort lumínico visual de las personas. Los indicadores UDI y ASE resultaron ser multifuncionales para la evaluación. Se aplicaron de forma convencional para obtener información en cuanto al confort lumínico habitual ($UDI_{100-3000lux}$ y $ASE_{1000/250horas}$) para luego modificar los umbrales de exigencia (UDI_{0-200} y $ASE_{1000/0}$) comprobando la seguridad de la exposición.

A partir de los resultados se identificó la necesidad de la incorporación de elementos de control solar y criterios de diseño, por lo que surge como una oportunidad de investigación a futuro con el fin de conseguir un ambiente lumínico equilibrado que permita aprovechar la iluminación natural y sus beneficios para el confort humano y apreciación de las obras. Junto a esto, el proceso de búsqueda de casos evidenció una predominancia de aperturas laterales en el caso chileno, por lo que la incorporación de las aperturas cenitales para realizar evaluaciones en latitudes poco exploradas podría evidenciar nuevos factores de importancia para la conformación de un ambiente lumínico en relación a los distintos contextos climáticos.

Al igual que el origen de los estándares de conservación del arte, la evaluación de los indicadores dinámicos de la iluminación natural en recintos expositivos ha sido publicada mayoritariamente en el hemisferio norte, considerando latitudes sobre los 40° en contextos climáticos que cuentan con cielos nublados en gran parte del año. La realización de estas evaluaciones en emplazamientos como Arica y Santiago, con mayor radiación solar o Punta Arenas como clima extremo, permiten establecer un análisis comparativo e interpretar los resultados relevando la importancia del clima local y reconociendo la influencia de los distintos contextos climáticos en la conformación del ambiente lumínico. ✎

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEWALE, B., OKUBOTE, F., & TEMOWO, A. (2020). Assessment of Lighting Strategies and Their Influence on Users' Experience in Art Galleries. *Psychology and Education*, 57(9). <https://doi.org/https://doi.org/10.17762/pae.v57i9.603>
- ALRUBAIH, M.S., ZAIN, M.F.M., ALGHOUL, M.A., IBRAHIM, N.L.N., SHAMERI, M.A., & ELAYEB, O. (2013). Research and development on aspects of daylighting fundamentals. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 494–505). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.057>
- AL-SALLAL, K.A., ABOUELHAMD, A.R., & DALMOUK, M. BIN. (2018). UAE heritage buildings converted into museums: Evaluation of daylighting effectiveness and potential risks on artifacts and visual comfort. *Energy and Buildings*, 176, 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.067>
- BEHRENS, R. (2012). *Análisis De Desempeño Térmico Y Lumínico En Edificios De Oficina a Partir De Monitoreo Experimental Autora (Issue Xii)*. Universidad Internacional de Andalucía.
- BENÍTEZ, A., MOLINÍ, D., & FERNÁNDEZ-BALBUENA, A.Á. (2016). *Iluminar obras de arte mejorando la conservación*. Proyecto Zeus.
- BENSON, M. (2017). Mitigating Light Damage in a New Exhibition Space at the Getty Research Institute. *1st International Museum Lighting Symposium & Workshops*, 53–57.
- DEL HOYO-MELÉNDEZ, J.M., MECKLENBURG, M.F., & DOMÉNECH-CARBÓ, M.T. (2011). An evaluation of daylight distribution as an initial preventive conservation measure at two Smithsonian Institution Museums, Washington DC, USA. *Journal of Cultural Heritage*, 12(1), 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.05.003>
- FATHY, F., MANSOUR, Y., SABRY, H., REFAT, M., & WAGDY, A. (2020). Conceptual framework for daylighting and facade design in museums and exhibition spaces. *Solar Energy*, 204(May), 673–682. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.014>
- GUIMARAES MACEDO, Y. (2019). *Natural lighting for sustainable design of art exhibition spaces: daylighting design catalogue*. (Tesis de maestría). UPC, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Barcelona. <http://hdl.handle.net/2117/172980>
- HESCHONG, L. (2012). *Daylight Metrics. PIER Daylighting Plus Research Program*. Heschong Mahone Group. <http://h-m-g.com/DaylightPlus/PIER%20Daylight%20Metrics%20Final%20Report.pdf>
- HURLBERT, A. & CUTTLE, C. (2020). New Museum Lighting for People and Paintings. *Leukos. Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 16(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1676019>
- IORDANIDOU, C. (2017). *Daylight openings in art museum galleries A link between art and the outdoor environment*. (Tesis de maestría). KTH Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment. Estocolmo.
- LIGHTSTANZA (2021). *Windows*. Light Foundry LLC.
- LÓPEZ, B. (2016). *Propuesta de iluminación museográfica Museo Lukas*. Pontificia Universidad Católica de Chile. https://diseno.uc.cl/memorias/pdf/memoria_dno_uc_2016_1_LOPEZ_RUIZ_B.pdf
- MARDALJEVIC, J., HESCHONG, L. & LEE, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research and Technology*, 41(3), 261–283. <https://doi.org/10.1177/1477153509339703>

- MARDALJEVIC, J. (2000). Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. *Lighting Research & Technology*, 32, 111–118. <https://doi.org/10.1177/096032710003200302>
- MARDALJEVIC, J., ANDERSEN, M., ROY, N. & CHRISTOFFERSEN, J. (2012). *Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?*
- MAYORGA, S. (2018). *Estudio y optimización espectral de la radiación visible para la conservación del patrimonio cultural*. (Tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid.
- NABIL, A. & MARDALJEVIC, J. (2005). Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37, 41–59. <https://doi.org/10.1191/1365782805li1280a>
- NCH 1079. OF77. DIARIO OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CHILE (10 de octubre de 1977). <https://seigrapa.weebly.com/uploads/1/1/8/2/11828201/nch1079-1977.pdf>
- OBSERVATORIO DE POLÍTICAS CULTURALES (2019). *Situación de los museos en Chile*. <https://www.observatoriopolicasculturales.cl/wp-content/uploads/2019/05/Situación-de-los-Museos.pdf>
- PRETO, S. & CAMELO GOMES, C. (2016). *Light: Visual Comfort Versus Artwork Health* (Vol. 489, pp. 547–559). https://doi.org/10.1007/978-3-319-41694-6_54
- REINHART, C. & WALKENHORST, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE–based daylight simulation for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33, 683–697. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00058-5)
- SARAIVA, N., RODRIGUES, E., GASPAR, A. & GOMES, Á. (2019, July). Daylight Modelling of a Portuguese Baroque Library. *Conference Proceedings of IISBE Forum of Young Researchers in Sustainable Building*. <https://doi.org/978-80-01-06610-2>
- SAUNDERS, D. (2020). *Museum lighting guide for conservators and curators*. Getty trust publications.
- SZABÓ, F., KÉRI, R. & CSUTI, P. (2017). The Preferred Conditions of LED Lighting for Fine Art Paintings: The Influence of Illuminance Level and Correlated Colour Temperature. *1st International Museum Lighting Symposium & Workshops*, 50–52.
- VARZGANI, A. M. (2015). *Importance of Daylight*. https://issuu.com/ameermustafavarzгани/docs/ameer_mustafa_varzгани_research_pap
- WAHAB, M. H. A. & ZUHARDI, A. F. A. (2013). Human Visual Quality: Art Gallery Exhibition. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 101, 476–487. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.221>
- 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, 743–757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017>
- WIRZ–JUSTICE, A., SKENE, D. J. & MÜNCH, M. (2021). The relevance of daylight for humans. *Biochemical Pharmacology*, 191, 114304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114304>
- YU, X. & SU, Y. (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 494–503. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.142>