

## Evaluación de las condiciones de orientación temporal en programas de modelación lumínica.

Evaluation of temporal orientation conditions in lighting simulation software.

**Francisca Rodríguez Leonard**

Universidad Técnica Federico Santa María, Chile  
francisca.rodriguez@usm.cl

### Abstract

The study analyzes three basic visual aspects of light (Spatial distribution of brightness, shadows and color of light) in their ability to communicate temporal information by modeling two specific scenarios using different lighting simulation software (DIALux and Relux). The results confirm the potentiality of natural light to assess temporal disorientation in indoor environments. At the same time, the study proposes new opportunities for improving natural light representation in the simulation field.

**Keywords:** Orientación temporal; Luz natural; Modelación lumínica.

### Luz y orientación

Desde épocas ancestrales, los seres humanos han buscado medir la duración o separación de los acontecimientos que atestiguan, así como los períodos entre los cuales los eventos que les son familiares transcurren. Los egipcios fueron el primer pueblo documentado en utilizar instrumentos para la medición del tiempo, valiéndose de plumas, relojes de agua y relojes de sol (Whitrow, 1989). A través de la historia, la constante observación de las variaciones y efectos de luz solar desde el amanecer al atardecer (Major et al, 2005) así como la mediación de un proceso de adaptación biológica a la luz del sol (Brainard & Hanifin, 2005), han permitido al hombre desarrollar un sentido de orientación temporal en función de la luz que le permite desenvolverse en sus actividades diarias de manera natural.

En las últimas décadas, la masificación dada por la economía de escala en lo que respecta a nuevas tecnologías de iluminación artificial, la densificación urbana, así como el estilo de vida y de trabajo predominante en las grandes ciudades, han detonado en una reducción drástica de la cantidad de horas de exposición a la luz solar (Favero, 2009), y en un incremento de la cantidad de horas bajo iluminación artificial. Esta situación se traduce directamente en problemas de salud visual (Rose et al, 2008; Boyce, 2003), desregulaciones metabólicas (Brainard et al, 2001), así como en desorientación general y malestar de los usuarios, principalmente en recintos masivos que no cuentan con acceso directo a luz natural durante el día (e.g. Centros comerciales, supermercados, estaciones subterráneas de transporte público (Figura 1)), y que, en cambio, reemplazan esta falta de luz natural con altos niveles constantes de iluminancia artificial (E), que se caracteriza por la ausencia de contrastes y de variación durante el día (Ejhed et al, 2011) lo que no hace sino dificultar aún más la orientación espacial y temporal de sus usuarios.

**Figura 1:** Iluminación artificial característica de los recintos comerciales: Altos niveles de iluminancia (E) y nula presencia de contrastes y variación durante el día (Fuente: Elaboración propia).



### Modelación lumínica como herramienta de análisis

Dentro de los programas de simulación utilizados por diseñadores, arquitectos e ingenieros hoy en día, los programas de modelación lumínica otorgan información que permite no sólo predecir los niveles de luz natural en edificaciones y minimizar el consumo de energía eléctrica mediante el uso eficiente de la luz artificial, sino que además se constituyen como una potencial herramienta de análisis de las cualidades visuales y espaciales que produciría la luz natural en los recintos. Esta característica de la luz simulada permitiría a sus usuarios no sólo comunicar de manera eficiente información respecto a las configuraciones espaciales y temporales de los recintos, sino que además permitiría mejorar el diseño de los sistemas de control de luz artificial, y con esto la experiencia de uso de sus habitantes.

A modo de ejemplo, en recientes estudios sobre navegación espacial en recintos interiores (Hidayetoglu et al, 2012), se analizaron las características de la luz que facilitan el desplazamiento y el reconocimiento de recorridos mediante

la utilización de programas de modelación lumínica. En dicha oportunidad se estableció que los parámetros de luz que inciden mayormente en la orientación espacial y navegación por parte los usuarios son color, intensidad y temperatura de color. En una línea similar de investigación realizada en recintos comerciales con iluminación artificial (Ejhed et al, 2011), se comprobó que nuestra respuesta a la luz eléctrica se basa fuertemente en nuestra experiencia de luz natural, lo que se traduce en una preferencia y mejor comprensión frente a situaciones que presentan contrastes de brillo y color, luz directa, y transiciones en la temperatura de color y en el tipo de luz (de direccional a difusa).

Los estudios presentados aportan valiosa información respecto a los alcances en términos de comunicación visual que produce la luz en recintos interiores, tanto a nivel de orientación espacial como de preferencias visuales de consumo y navegación; resulta por tanto significativo evaluar las variables de la luz en su potencial para otorgar información que permita la orientación desde una perspectiva temporal. Esta acción se plantea como un complemento a las líneas de investigación en curso, permitiendo implementar sistemas de iluminación artificial dinámica adaptados a las necesidades específicas de uso de cada recinto y tipo de usuario, en función de sus requerimientos de desempeño y bienestar.

## Consideraciones previas

En su trabajo sobre los aspectos físicos y visuales de la luz, Liljefors (1999) determinó siete conceptos básicos que describen la experiencia visual de la luz en el espacio, y que permiten caracterizar la experiencia visual como un todo: Nivel de luminosidad, distribución espacial de brillos, sombras, reflejos, deslumbramiento, color de la luz y color. Si bien cada uno de estos conceptos puede ser utilizado en el análisis de las características de orientación temporal de un recinto, por limitaciones propias del estudio se abordarán tres conceptos que parecieran dar cuenta de mejor forma la variabilidad propia de la luz solar, a saber: Distribución espacial de brillos, sombras y color de la luz .

**Tabla 1:** Elementos de análisis espacial correspondientes a los tres términos en estudio (Fuente: Elaboración propia).

Conceptos	Elementos de Análisis
Distribución espacial de brillos	Posición de la fuente de luz.
Sombras	Área luminosa de la fuente de luz y su distancia relativa a los objetos emisores de sombra.
Color de la luz	Temperatura de color (K) de la radiación SML.

El objetivo del estudio será determinar mediante modelación lumínica cuál(es) de estas variables de la luz tiene(n) mayor incidencia en el entendimiento de las condiciones temporales de los recintos interiores. De esta forma, el estudio buscará complementar las líneas de investigación en curso, a modo

de posibilitar la implementación de sistemas de iluminación dinámica basados en la experiencia del usuario en el futuro.

## Método

Para llevar a cabo el estudio, se diseñará un recinto interior simple, replicado en dos programas de modelación lumínica (DIALux y Relux). Mediante la elaboración de una encuesta aplicada a estudiantes de Arquitectura, se buscará determinar la validez de las siguientes hipótesis: (1) Las variaciones de cada uno de los tres conceptos en estudio (e.i., Distribución espacial de brillos, sombras y color de la luz) permiten reconocer la dimensión temporal en los programas de modelación lumínica, y (2) Los tres conceptos en estudio pueden ser jerarquizados de acuerdo a su capacidad para comunicar visualmente nociones de orientación temporal a los usuarios de recintos interiores.

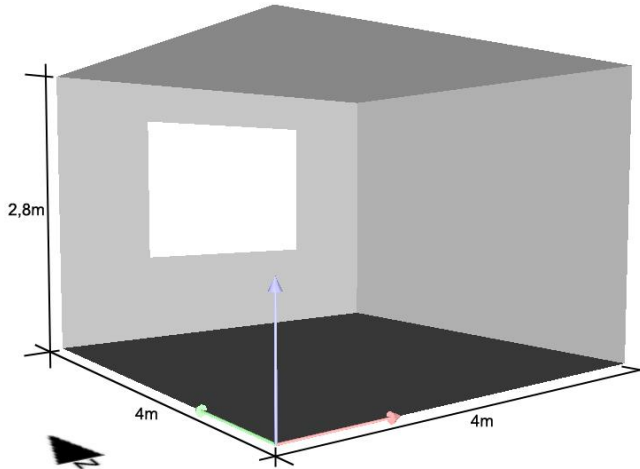
## Programas de modelación lumínica

Para el análisis de orientación temporal, se seleccionaron dos programas de modelación lumínica que presentan características similares entre sí: DIALux permite calcular luz artificial, luz natural y rendimiento energético. Es un programa de modelación ampliamente utilizado para el cálculo de sistemas de iluminación en recintos interiores y exteriores, que trabaja con estándares CIE 110-1994. Por su parte, Relux es un programa de modelación lumínica que permite cálculos de luz artificial, luz natural y rendimiento energético, que cumple con estándares similares a los que utiliza DIALux que aplica motores de renderizado Radiosity y Raytracing, dependiendo de los requerimientos del usuario.

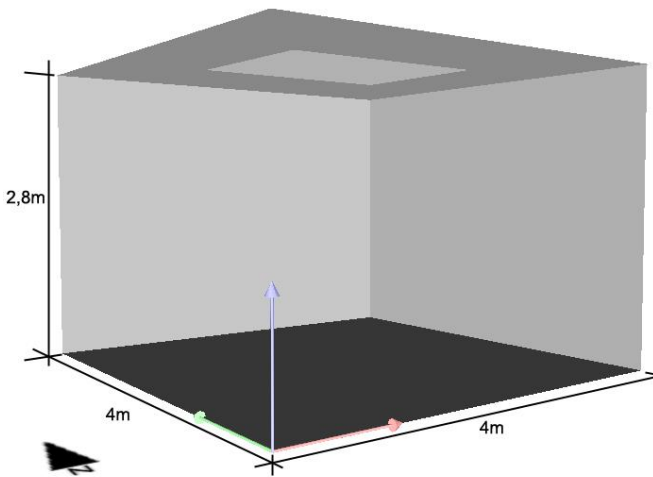
Si bien los programas de modelación lumínica permiten calcular con bastante exactitud los niveles de luz natural y artificial de los recintos interiores (Mardaljevic 1995; Reinhart & Walkenhorst 2001; Reinhart & Andersen 2006; Reinhart 2010), es importante no olvidar que dichos resultados pueden verse influenciados por diversos factores, entre los cuales se incluyen métodos de cálculo, modelo de cielo, modelo de edificación, propiedades de las superficies y experiencia del usuario (Iversen et al, 2013). Por esto, a modo de asegurar la comparabilidad en los resultados obtenidos, se utilizó Raytracing como motor de renderizado, una técnica basada en el cálculo de la distribución de una gran cantidad de rayos emitidos en una escena (Larson & Shakespeare 1998). y que es utilizado por los programas de modelación lumínica DIALux y Relux.

## Configuración de recinto

Para un análisis básico de las condicionantes de la luz que determinan la orientación temporal en los programas de modelación lumínica, fueron elaborados dos recintos de geometrías simples, a modo de facilitar la lectura en la comparación de escenas (Figuras 2 y 3).



**Figura 2:** Recinto 01: Local simple con una ventana orientada hacia el Norte magnético. La luz incidente es reflejada en todos los muros. Las dimensiones del Recinto 01 son 4 m. de ancho, 2.8 m. de altura y 4 m. de profundidad. Los espesores de muros son de 0.2 m y el espesor de vidrio (V) es de 0.06 m. Las dimensiones de la ventana son de 2 m. de ancho y 1.5 m. de altura. La altura del antepecho es de 0.9 m. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 3:** Recinto 02: Local simple con un tragaluz ubicado en el centro del recinto. La luz incidente es reflejada en todos los muros. Las dimensiones se mantienen constantes en relación al Recinto 01. Las dimensiones del tragaluz son de 2 m. de ancho y 1.5 m. de altura (Fuente: Elaboración propia).

### Parámetros de simulación

A modo de aunar parámetros respecto a las características físicas que inciden en el análisis de orientación temporal de los programas de modelación lumínica, se consideraron valores estándares de reflectancia (e.i. radiación reflejada en las superficies de un recinto) y transmitancia luminosa (e.i. cantidad de luz que atraviesa un cuerpo).

**Tabla 2:** Índice de Reflectancia en superficies y transmitancia luminosa para Recinto 01 (Fuente: Elaboración propia).

Reflectancia	
Suelo	0.2
Techo	0.7
Muros	0.5
Transmitancia	
Ventana en Muro	0.9

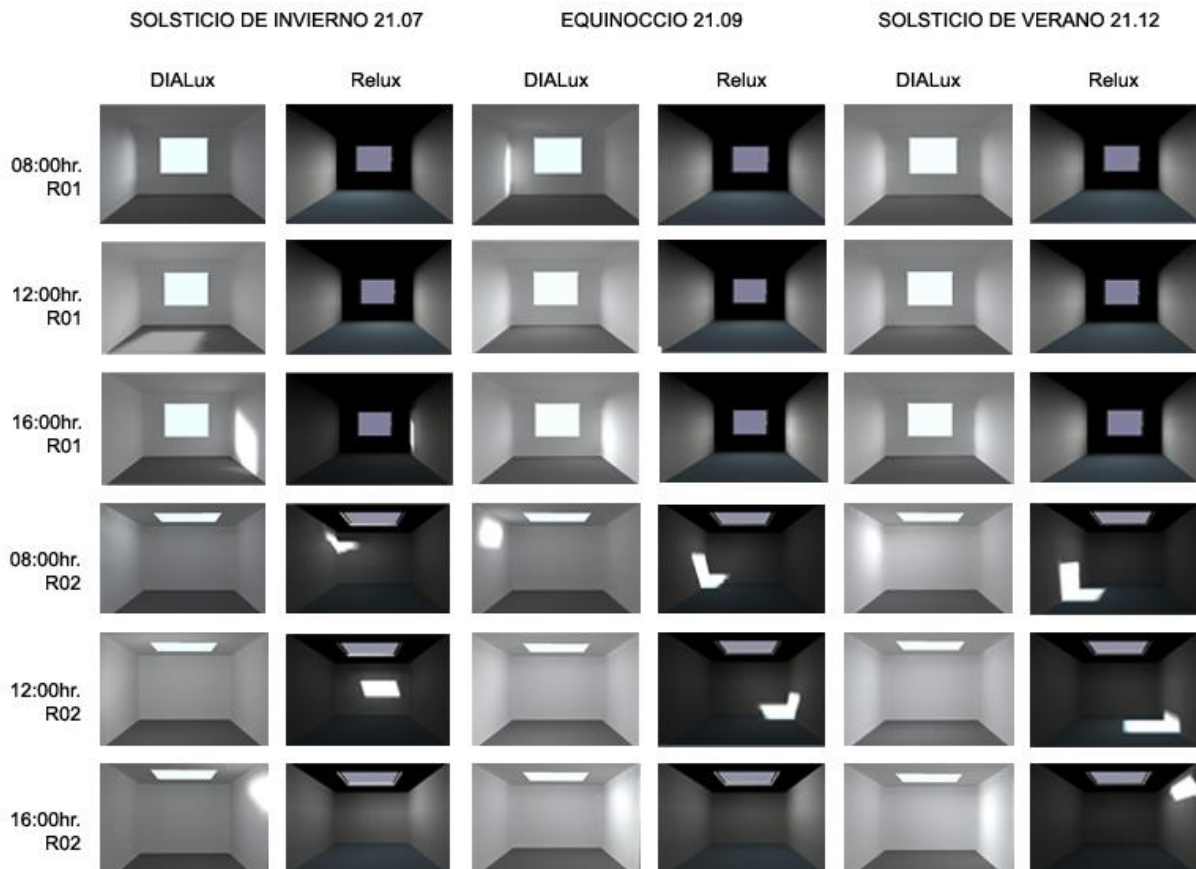
Respecto a las condiciones de ubicación geográfica y temporal a utilizarse en ambos modelos, fue determinado inscribir el estudio en un lugar cuyas características de iluminación natural fuesen reconocibles por los participantes (Ejhed, 2011). Así, ambos modelos fueron ubicados en la latitud 33°S y longitud 70°O, locación geográfica de la ciudad de Valparaíso, Chile, lugar donde habita gran parte de la población encuestada.

Para las variables concernientes a tipo de cielo establecido por los estándares ISO 15469:2004 (E) y CIE S 011/E: 2003, se utilizaron las características correspondientes al tipo de cielo despejado (Clear Sky), debido a que la componente de luz solar directa es un factor importante a ser considerado en este estudio.

Valparaíso cuenta con una duración promedio de 10,5 horas de luz solar durante el solsticio de invierno y de 14,5 horas durante el solsticio de verano. Por su ubicación geográfica, es una ciudad donde pueden observarse marcadamente las estaciones del año, y por consiguiente, las variaciones lumínicas y cromáticas del entorno. Los modelos simulados fueron configurados buscando reflejar la situación lumínica característica de la ciudad; para ello, se establecieron tres momentos significativos del año (Solsticios de invierno y verano y Equinoccio), así como tres horarios que presentasen diferencias significativas respecto a las condiciones lumínicas observables (08:00 hrs., 12:00 hrs. Y 16:00 hrs.).

### Participantes y procedimiento

El proceso de encuesta modalidad electrónica se llevó a cabo durante los meses de junio y julio de 2016. En ella se presentaron imágenes de los modelos simulados en DIALux y Relux en tres momentos significativos del año, y en tres horarios del día (Figura 4), junto a una serie de preguntas generales y específicas que tienen por destino describir lo observado. Fueron participantes 36 mujeres y 28 hombres de entre 17 y 26 años, sumando un universo total de 64 encuestados. Los participantes son estudiantes de pregrado, egresados y titulados de la carrera de arquitectura que cuentan con nula, media y baja experiencia previa en el manejo de modelos lumínicos (70%, 19% y 11%), pero con experiencia media, alta y baja en el diseño de espacios interiores (42%, 30% y 28%).



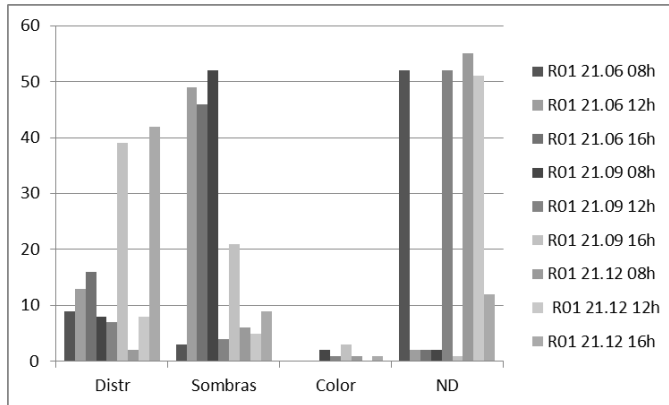
**Figura 4:** Cuadro comparativo de modelos lumínicos presentados (Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 3:** Cuadro de preguntas realizadas (Fuente: Elaboración propia).

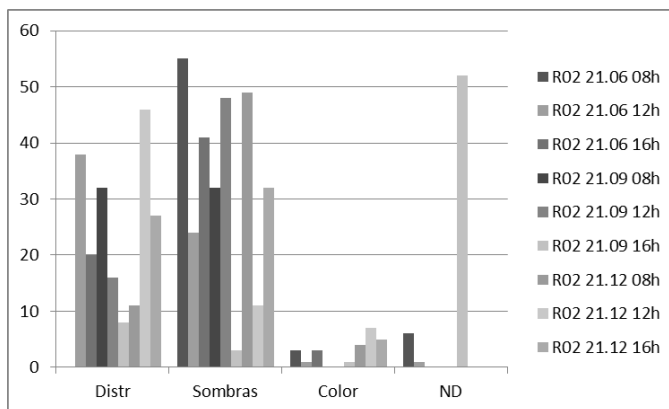
Caracterización			
Género, edad, ocupación, experiencia previa en el manejo de modelos lumínicos, experiencia previa en el diseño de espacios.			
Preguntas Generales		Preguntas Específicas	
1.1 A partir de las condiciones de luz natural ¿Qué hora del día puede observarse en el recinto?		1.2 ¿Qué aspecto visual de la luz natural le permite discriminar de mejor forma la hora del día en el recinto?	
(a) 08.00 hrs. (b) 12:00 hrs. (c) 16:00 hrs. (d) No puede determinarse.		(a) Distribución espacial de brillos	Los niveles de iluminancia del recinto y la posición de la fuente de luz.
		(b) Sombras	La orientación de sombras, su nitidez y dimensión.
		(c) Color de la luz	El color de la luz percibido en el recinto.
		(d) Ningún aspecto de la luz natural permite discriminar la hora del día en el recinto.	
2.1 A partir de las condiciones de luz natural ¿Qué fecha del año puede observarse en el recinto?		2.2 ¿Qué aspecto visual de la luz natural le permite discriminar de mejor forma la fecha del año en el recinto?	
(a) Solsticio de verano (b) Equinoccio otoño-primavera (c) Solsticio de invierno (d) No puede determinarse.		(a) Distribución espacial de brillos	Los niveles de iluminancia del recinto y la posición de la fuente de luz.
		(b) Sombras	La orientación de sombras, su nitidez y dimensión.
		(c) Color de la luz	El color de la luz percibido en el recinto.
		(d) Ningún aspecto de la luz natural permite discriminar la fecha del año en el recinto.	

## Análisis de datos y resultados

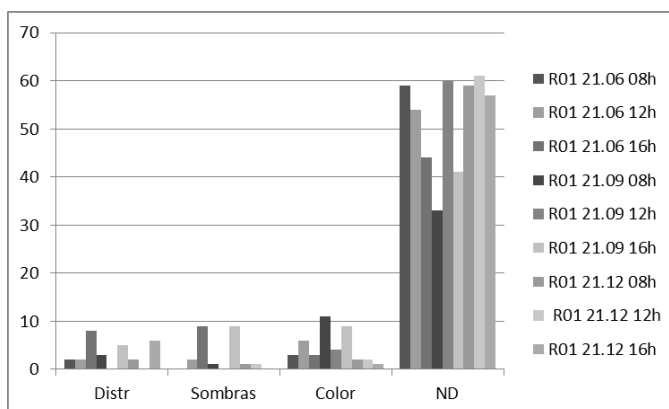
**Tabla 4:** Gráfico de respuestas a pregunta 1.2 ¿Qué aspecto visual de la luz natural le permite discriminar de mejor forma la hora del día en el recinto 01? (Fuente: Elaboración propia).



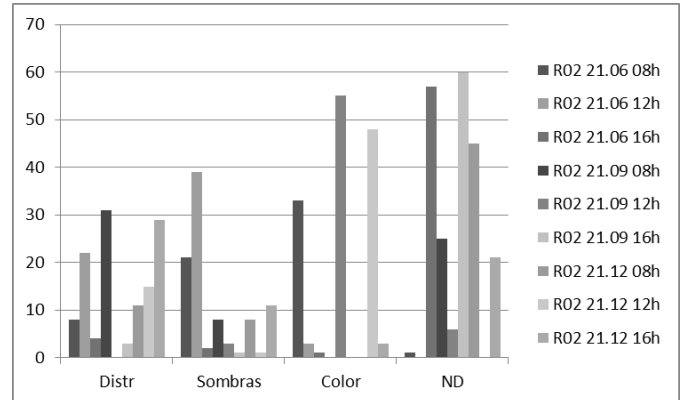
**Tabla 5:** Gráfico de respuestas a pregunta 1.2 ¿Qué aspecto visual de la luz natural le permite discriminar de mejor forma la hora del día en el recinto 02? (Fuente: Elaboración propia).



**Tabla 6:** Gráfico de respuestas a pregunta 2.2 ¿Qué aspecto visual de la luz natural le permite discriminar de mejor forma la fecha del año en el recinto 01? (Fuente: Elaboración propia).



**Tabla 7:** Gráfico de respuestas a pregunta 2.2 ¿Qué aspecto visual de la luz natural le permite discriminar de mejor forma la fecha del año en el recinto 02? (Fuente: Elaboración propia).



La primera impresión de los modelos presentados da cuenta de la diferencia en los modelos obtenidos para DIALux y Relux bajo un mismo motor de renderizado (Raytracing) e idénticos parámetros de simulación. Esta diferencia es observable tanto para la luminosidad de los diferentes recintos, como en la distribución espacial de brillos y sombras en el mismo. Es por lo tanto probable que dichos grados de contraste generen una mayor dificultad en la lectura de los resultados por parte de los encuestados.

Aun cuando el grupo encuestado cuenta con cierto manejo en el diseño espacial, los resultados obtenidos arrojan errores en la lectura de los modelos lumínicos, tendiendo a confundirse principalmente las horas de la mañana (08:00hr.) con aquellas de la tarde (16:00hr.), así como el horario de invierno con el de verano. Esto puede deberse principalmente a una confusión en la lectura de los conceptos de distribución de brillos en relación al Norte magnético y las sombras que la fuente de luz proyecta en el recinto.

De acuerdo a los datos obtenidos para cada recinto, puede observarse que el Recinto 01 presenta una mayor dificultad para dar cuenta de la hora del día en las instancias donde no se observa proyección de sombras directas y contrastadas. Por otro lado, al presentar el Recinto 02 un mayor número de sombras contrastadas, se observa una mayor elucidación en las respuestas entregadas por parte de los encuestados, independiente de si los resultados fueron acertados o erróneos. El aspecto que permite definir de mejor forma la orientación temporal respecto a la hora del día es por tanto la presencia de sombras contrastadas (42%), seguida por la distribución espacial de brillos (29%). El color de la luz en los recintos no parece informar mayormente en términos de orientación temporal en función de la hora del día (2%).

Por otra parte, en lo que concierne a la orientación respecto a los momentos significativos del año, si bien la respuesta más recurrente resulta ser la inexistencia de criterios de

iluminación que permitan determinar la fecha del año (59%), el color de la luz pareciera tener una mayor incidencia que la distribución espacial de brillos y sombras (15% versus 13% y 10%, respectivamente). Esto podría deberse a una asociación cultural del color de la luz y la época del año (invierno: luz fría; verano: luz cálida). Para el estudio de las épocas cuyas condiciones lumínicas no presentan una caracterización marcada (Equinoccio de otoño y primavera), no existieron preferencias marcadas respecto a este punto.

Respecto a las hipótesis planteadas para el presente estudio, podría verificarse que las variaciones de cada uno de los tres conceptos en estudio (e.i., Distribución espacial de brillos, sombras y color de la luz) permiten reconocer la dimensión temporal en los programas de modelación lumínica, tanto horaria como estacional. Esto si consideramos las restricciones naturales del estudio y las limitaciones de los programas de modelación lumínica en la actualidad. Además, es posible establecer una jerarquización de los conceptos estudiados en su capacidad de comunicar visualmente nociones de orientación temporal a los participantes encuestados, estableciéndose un ordenamiento promedio decreciente: Sombras, distribución espacial de brillos y color de la luz.

## Conclusiones y discusión

Si bien la luz en los programas de modelación se ha constituido como un elemento significativo en los estudios de orientación espacial (Hidayetoglu et al, 2012; Ejhed et al, 2011), aún queda un largo camino por recorrer en lo que respecta a la simulación de las características visuales de la misma, y su repercusión en la orientación temporal de sus usuarios.

Frente a este escenario, se adelanta que un mejor tratamiento del color de la luz en los programas de modelación lumínica mejorarían de modo considerable las características visuales de orientación temporal en los recintos interiores, principalmente en lo que respecta a la orientación temporal en los distintos momentos del año. De la misma forma, un protocolo universal para la visualización en la distribución espacial de brillos y sombras, permitiría clarificar de mejor forma estas variables, facilitando la lectura de los mismos y evitando la desorientación generalizada por parte de los usuarios. Estas mejoras en los programas de modelación lumínica podrían repercutir en el incremento en el número de estudios en esta área, en el desarrollo de trabajos de realidad aumentada que involucren la orientación temporal en términos lumínicos, así como en la mejor comprensión y planificación de la luz (tanto natural como artificial) por parte de arquitectos y diseñadores en los recintos interiores.

Como docentes, hay por delante un gran desafío en la enseñanza de la disciplina, focalizada principalmente en los aspectos formales de la arquitectura. En la medida que las variables de iluminación y orientación sean tomadas en cuenta, más allá de los aspectos meramente estéticos y funcionales, se podrán diseñar interiores que reconozcan las características perceptuales y culturales del entorno,

mejorando con esta medida la calidad de vida y bienestar general de los usuarios.

## Agradecimientos

Se agradece al Departamento de Arquitectura UTFSM por su colaboración en el trabajo que aquí se presenta.

## Referencias

- Boyce, P. R. (2014). Human factors in lighting. Crc Press.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412.
- Brainard, G. C., & Hanifin, J. P. (2005). Photons, clocks, and consciousness. *Journal of biological rhythms*, 20(4), 314-325.
- Comission Internationale de l'Eclairage (1994). Standard CIE 110-1994 Spatial Distribution of Daylight - Luminance Distributions of Various Reference Skies. Retrieved from [http://www.cie.co.at/index.php?i\\_ca\\_id=575&pubid=109](http://www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=575&pubid=109).
- Comission Internationale de l'Eclairage (2004). Standard ISO 15469:2004 (E)/CIE S 011/E:2003 Spatial Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky. Retrieved from [http://div3.cie.co.at/?i\\_ca\\_id=575&pubid=116](http://div3.cie.co.at/?i_ca_id=575&pubid=116).
- Ejhed, J., Greule, R. & Felsch, M. (2011) Attention equivalent – a study concerning the effectiveness of specific lighting parameters on the perception and preference of customers in a shop. *Zumtobel Research*.
- Favero, F. (2009). TimeLight – Temporal aspects influencing the experience of space. PLDC 2<sup>nd</sup> Global Lighting Design Convention Proceedings:188-190.
- Hidayetoglu, M.L., Yildirim, K. & Akalin, A. (2012). The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment. *Journal of Environmental Psychology* 32: 50-58.
- Iversen A., Roy, N., Hvass, M., Jørgensen, M., Christoffersen, J. Osterhaus, W. & Johnsen, K. (2013). Daylight calculations in practice. An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms. SBI 2013:26 Danish Building Research Institute, Aalborg University.
- Larson, G. W., & Shakespeare, R. (2003). *Rendering with Radiance*, revised edition. Space & Light.
- Liljefors, A. (1999). *Lighting - Visually and Physically – V/P Lighting Theory*, Basic lighting knowledge. Stockholm: KTH School of Architecture.
- Major, M., Speirs, J. & Tischhauser, A. (2005). *Made of Light: The Art of Light and Architecture*. Basel: Birkhäuser.
- Mardaljevic, J. (1995). Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. *Lighting research and Technology*, 27(4), 181-188.
- Reinhart, C.F. & Walkenhorst, O. (2001) Validation of dynamic Radiance based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33, 683-697
- Reinhart, C.F. & Andersen, M. (2006) Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. *Energy and Buildings*, 38, 890-904.
- Rose, K. A., Morgan, I. G., Smith, W., Burlutsky, G., Mitchell, P., & Saw, S. M. (2008). Myopia, lifestyle, and schooling in students of Chinese ethnicity in Singapore and Sydney. *Archives of ophthalmology*, 126(4), 527-530.

Whitrow, G. J. (1989). Time in history: Views of time from prehistory to the present day. Oxford University Press, USA