

Amabilidad visual: sistemas de sombreado

Visual amenity: Shading systems

Ayelén María Villalba¹

avillalba@mendoza-conicet.gob.ar

CONICET Mendoza - Centro Científico Tecnológico

Juan Manuel Monteoliva¹

jmonteoliva@mendoza-conicet.gob.ar

CONICET Mendoza - Centro Científico Tecnológico

Andrea Elvira Pattini¹

apattini@mendoza-conicet.gob.ar

CONICET Mendoza - Centro Científico Tecnológico

RESUMEN – La iluminación afecta el comportamiento de las personas y su impresión de los espacios, sin embargo muy poco se ha estudiado respecto de la *amabilidad visual* de un espacio protegido por sistemas de sombreado (Ruck *et al.*, 2000). El presente trabajo analiza tres aspectos vinculados a este concepto –color, visión exterior y apariencia– en espacios interiores con aventanamientos protegidos por filtros de control solar y cortinas textiles interiores. Su justificación está planteada ante la hipótesis de que la correcta implementación de sistemas de sombreado (filtros de control solar, venecianas, louvers, cortinas) debe incorporar, al actual análisis de *usabilidad visual* (visibilidad y confort visual), el estudio de la *amabilidad visual*. Los resultados obtenidos revelan la necesidad de implementar estrategias de sombreado, desde la perspectiva de la amabilidad visual, respetando los principios bioclimáticos de orientación y adecuación a las condiciones climáticas regionales, a través de estudios dinámicos del factor de iluminación.

Palabras clave: iluminación natural, sistemas de sombreado, amabilidad visual, apariencia, temperatura de color correlacionada, visión al exterior.

ABSTRACT – Lighting affects people’s behavior and their impression of the environment, yet very little has been studied regarding the *visual amenity* of indoor spaces protected by shading systems (Ruck *et al.*, 2000). The present study analyzes three aspects related to this concept – color, outside view, appearance – in indoor spaces with windows shaded with solar films and curtains. Its purpose is justified by the hypothesis that the correct implementation of shading systems (solar control films, venetian blinds, louvers, curtains) should add the study of visual amenity to the current usability analysis (visibility and visual comfort). From the standpoint of visual amenity, the results show the need to implement shading strategies according to bioclimatic principles of façade orientation and adaptation to regional climate conditions, through daylight dynamic studies.

Keywords: daylight, shading systems, visual amenity, appearance, outside view, correlated color temperature.

Introducción

La mayor parte de los combustibles fósiles son empleados para generar electricidad, lo que resulta en emisiones de dióxido de carbono y otras partículas contaminantes que conducen a la lluvia ácida y al cambio climático, causado por el efecto invernadero (Shafiee y Topal, 2008; Li *et al.*, 2008, 2009; Li, 2010; Jenkins y Newborough, 2007). Por estos motivos, la crisis ambiental y energética a nivel mundial plantea, entre sus objetivos

más destacados, la disminución del consumo energético de los edificios (Climate Change, IPCC, 2014), edificios de energía neta cero (del inglés: “net zero energy buildings” – NZEB), siendo estos los que producen tanta energía como la utilizada en el transcurso de un año (Steven *et al.*, 2011). Entre un 20 y un 30 % del consumo eléctrico de los edificios no residenciales se destina a la iluminación artificial (Chirattananon *et al.*, 2002; Krarti *et al.*, 2005). Una de las maneras más eficientes de reducir el consumo de luz eléctrica es a través del uso de la luz natural llamada luz

¹ CONICET Mendoza - Centro Científico Tecnológico. Av. Ruiz Leal, 5500, Mendoza, Argentina.

del día (Bodart *et al.*, 2008). El empleo de la iluminación natural vinculado con controles de iluminación artificial ha revelado, en estudios de campo, ahorros energéticos de entre un 30 y un 60 % (Li y Lam, 2001; Li *et al.*, 2006; Kurian *et al.*, 2008; Doulos *et al.*, 2008).

Sin embargo, el empleo de luz solar como fuente de iluminación de espacios interiores, en especial en espacios de trabajo, requiere un detallado estudio para su correcta implementación. Actualmente, a los aspectos que involucra la usabilidad de la iluminación natural: confort visual y visibilidad (iluminancia, distribución y deslumbramiento), se suman los relacionados con la *amabilidad visual*. Estos son los parámetros vinculados con la apariencia, la visión al exterior, la privacidad y el color (Ruck *et al.*, 2000; Fontoynt, 2002). La amabilidad visual abarca la respuesta humana a la iluminación natural que va más allá de la visibilidad e incorpora los aspectos psicológicos (Ruck *et al.*, 2000). Las recomendaciones visuales basadas únicamente en parámetros de capacidad visual son generalmente limitadas (Boyce *et al.*, 2006). Estos valores no son totalmente representativos sin ser contrastados con las ponderaciones o valoraciones del usuario, permitiendo así llegar a un balance entre los parámetros de eficiencia de la tarea evaluada y los factores de confort del usuario. De lo contrario, es probable que el resultado final no sea satisfactorio.

La iluminación natural, en muchas situaciones, es preferida ante la iluminación artificial como fuente de luz (Galasius y Veitch, 2006; Boyce *et al.*, 2003), ya que permite ver el espacio y la tarea que se está realizando provocando una estimulación ambiental positiva. Asimismo, las ventanas son particularmente valoradas por la iluminación natural y la vista al exterior que proveen (Boyce *et al.*, 2006; Ruck *et al.*, 2000; Li, 2010; Roche *et al.*, 2000). La iluminación natural también es importante por su calidad, composición espectral y variabilidad, ya que es una fuente dinámica con un alto índice de reproducción de color.

Si bien la iluminación artificial y natural pueden ser analizadas desde parámetros semejantes como: la distribución de iluminancia y contraste de luminancias, índices de deslumbramiento y la temperatura de color, existen dos factores que diferencian el comportamiento de la fuente natural:

- (a) la iluminación natural varía en intensidad y color constantemente a la vez que puede presentar valores muy por encima de los umbrales. Lo que obliga que la caracterización de la fuente de iluminación natural sea de manera regional, es decir, para un determinado espacio (ubicación, tipo de distribución de luminancia del cielo) y tiempo (hora, mes) (Fontoynt, 2002; Chauvel y Dogniaux, 1982).
- (b) La iluminación natural está en muchas circunstancias vinculada con la visión al exterior, lo que resulta atractivo y además amplía el margen de tolerancia luminosa de los ocupantes

en comparación con la iluminación artificial (Fontoynt, 2002).

La iluminación afecta el comportamiento de las personas y su impresión de los espacios, sin embargo muy poco se ha estudiado respecto de la amabilidad visual de un espacio protegido por sistemas de sombreado (Ruck *et al.*, 2000). El presente trabajo analiza tres aspectos vinculados a la amabilidad visual –visión exterior, color y apariencia– en espacios interiores con ventanas protegidas por filtros de control solar y cortinas textiles interiores. Su justificación está planteada ante la hipótesis de que la correcta implementación de sistemas de sombreado (filtros de control solar, venecianas, louvers, cortinas) debe incorporar, al actual y frecuente análisis de usabilidad, el estudio de la amabilidad visual.

Temperatura de color correlacionada (TCC)

Boyce *et al.* (2003) afirman que la luz en un espacio se puede considerar en tres dimensiones: la cantidad, el espectro y la distribución. Asimismo sostiene que la iluminación natural tiene un elevado índice de reproducción del color (IRC), por lo que no distorsiona la percepción del color de los objetos. Sin embargo, cuando esta se refleja a partir de una superficie interior o cuando es transmitida a través de un vidrio altamente saturado en su croma se distorsiona el espectro (Boyce *et al.*, 2003). Köster (2004) y Baker *et al.* (1993) coinciden en que, cuando la radiación solar atraviesa un aventamiento, esta se ve afectada en su composición espectral por la interferencia del sistema de control solar en particular si se trata de vidrios con tratamientos de color. Sin embargo, la impresión visual de la iluminación en un interior no solo depende de los elementos traslúcidos o transparentes, sino también del color de las superficies interiores (Köster, 2004).

Las fachadas vidriadas modifican la distribución espectral de la radiación solar incidente y, por lo tanto, nuestra percepción de los colores en el interior de un espacio. Sin embargo, debemos tener en cuenta dos aspectos fundamentales al analizar esta modificación. Por un lado, el color de la luz solar varía considerablemente de acuerdo a las condiciones climáticas, espaciales y temporales (Chain *et al.*, 2001; Fontoynt, 2002). Por otro lado, el ser humano tiene la capacidad de adaptarse a distintas situaciones de iluminación; esto se denomina constancia de color, por lo que el color percibido de un objeto conocido se modifica mucho menos de acuerdo a distintas situaciones de lo que se espera a partir de la distribución espectral de la luz (Matusiak, *et al.*, 2012).

Visión al exterior

Las ventanas son altamente valoradas porque dan la posibilidad de mirar hacia el exterior, y las variaciones

en los niveles de iluminación, a lo largo del día, resultan estimulantes. Además las ventanas dan sentido de ubicación temporal y espacial. Estudios realizados en espacio que carecen de ventanas, o estas son de dimensiones o transmitancias reducidas, demuestran que esto puede provocar claustrofobia en los usuarios. Asimismo, se ha demostrado que los usuarios de este tipo de espacio tienen una marcada tendencia a colocar posters con imágenes de escenas exteriores naturales, las cuales favorecen la atención y reducen el stress (Heschong, 2003; Ruck *et al.*, 2000; Heerwagen y Oriens, 1986). Desde el punto de vista de la salud, los aventanamientos contribuyen a la puesta en marcha del sistema circadiano (Webb, 2006) y permiten al ojo hacer foco a distintas distancias. De acuerdo a estudios oftalmológicos, esto permite que la musculatura del ojo se relaje evitando la fatiga visual (Heschong, 2003). La visión al exterior depende de la ubicación del ocupante en el espacio; a una distancia superior a los dos metros generalmente la visión al exterior se reduce por la presencia de obstáculos (Ruck *et al.*, 2000).

Apariencia

Los patrones que genera la iluminación natural pueden afectar la percepción del espacio, afectando la coherencia, legibilidad y complejidad espacial (Ruck *et al.*, 2000). Los sistemas de control solar y de sombreado modifican el ingreso de la radiación solar generando patrones de luz y sombra, variaciones del color y de la distribución de la luz solar. Por esto resulta importante tener en cuenta como son percibidas estas modificaciones por los usuarios del espacio. Resulta importante preguntarnos qué tan agradables son los patrones que genera la luz natural en el interior de los espacios, qué tan estéticos son los sistemas de sombreado que usamos (Fontoynt, 2002).

Caso de estudio

El caso de estudio corresponde a un espacio de trabajo con ventana lateral, no residencial, ubicado en el área metropolitana de la ciudad de Mendoza. Dicho espacio es de 3 m x 6 m x 3 m (18 m²) y presenta en aventanamiento unilateral de 1,4 m x 5 m (7 m²), protegido por los distintos sistemas de control solar (SCS) analizados en este trabajo (véase la Figura 1). La selección de los SCS (filtros de control solar y las cortinas textiles interiores) analizados en el presente estudio fue basada en trabajos previos de los autores, donde se determinaron los SCS de uso más frecuente, en edificios no residenciales de la ciudad de Mendoza (Villalba *et al.*, 2012).

El tipo de cielo predominante de la ciudad de Mendoza es el cielo soleado; el 83% del año el cielo se encuentra despejado o parcialmente despejado con presencia de sol². El promedio anual de cantidad de horas de sol es de 2850 horas. Desde el punto de vista de la iluminación, el clima luminoso de Mendoza presenta valores de iluminancia global horizontal máximos medios de 90.000 lux en verano y de 30.000 lux en invierno (Córica, 2009; Pattini, 2007). Estas ciudades se caracterizan por la búsqueda de la sombra ya que la cantidad y duración de la radiación solar de gran intensidad impide, sin su control, un hábitat acondicionado en función de las capacidades visuales de los usuarios.

Filtros de control solar

Los filtros de control solar seleccionados, para este estudio, son los más comúnmente comercializados en la ciudad de Mendoza (Villalba *et al.*, 2012). En la Tabla 1 se detallan el vidrio, los filtros de control solar (Optics. Versión 5.1), con sus respectivas propiedades ópticas: transmitancia visible (TV), reflectancia visible (RV).

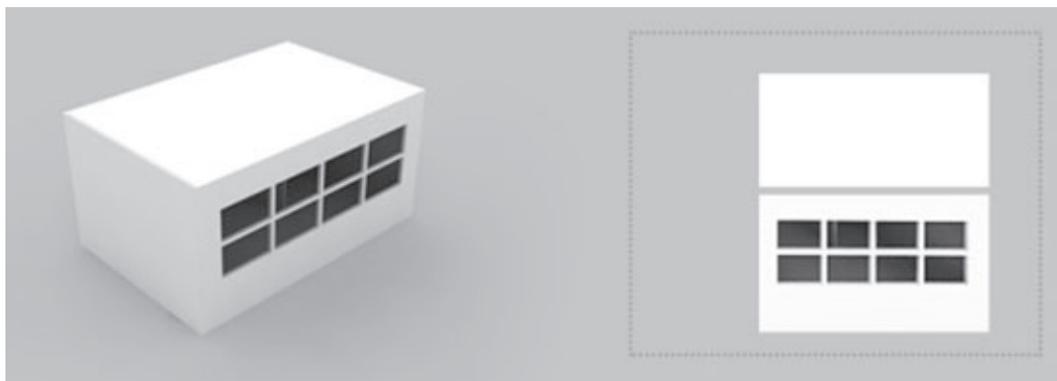


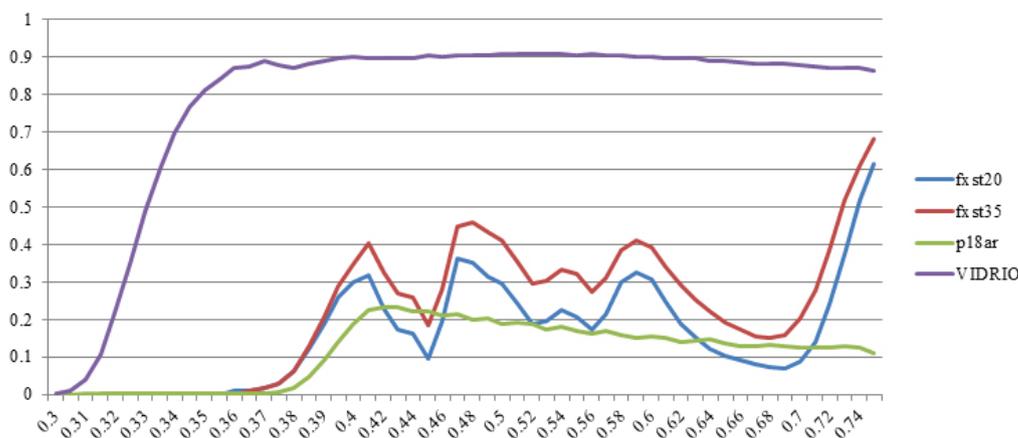
Figura 1. Modelo 3D del espacio analizado.

Figure 1. 3D model of the examined space.

² Servicio Meteorológico Nacional Argentino para el período 1981-90.

Tabla 1. Caracterización de los SCS analizados.**Table 1.** Characterization of SCS analyzed.

Producto	Propiedades ópticas		Comercialización	Observaciones
	TV	RV		
Filtro fxst35	0.334	0.049	Lámina transmitancia visible 35, acabado Humo Claro	Filtros oscuros con una diferencia de (T) entre ambos de un 15%
Filtro fxst20	0.231	0.047	Lámina transmitancia visible 20, acabado Humo Medio	
Filtro p18ar	0.17	0.578	Lámina de transmitancia visible 18, acabado Espejo Plata	Filtro espejado de elevada reflectancia

**Figura 2.** Curvas de selectividad espectral que presentan los filtros de control solar seleccionados (Optics V. 5.1).**Figure 2.** Spectral selectivity curves of selected solar control films.

En la Figura 2 se detallan las curvas de selectividad espectral que presentan los filtros de control solar seleccionados.

Cortinas textiles interiores

Las cortinas textiles interiores, analizadas en este estudio, corresponden a los tres textiles de uso más frecuente en edificios no residenciales de la zona de alta densidad urbana de la ciudad oasis de Mendoza (Villalba *et al.*, 2012): (a) bual, (b) jackard y (c) tropical (denominaciones vulgares) (véase la Figura 3). Los tres textiles seleccionados corresponden a la categoría de tejido plano con construcción de ligamento tafetán y pertenecen a la categoría de colores claros (Keyes, 1967).

Metodología

Con el fin de caracterizar el comportamiento y promover el uso de la luz natural en los edificios, herramientas eficaces se han desarrollado en las últimas décadas; estas incluyen programas de simulación de precisión y metodologías de medición en modelos a escala con un alto nivel de exactitud (Bodart *et al.*, 2008).

En este trabajo, la metodología se divide de acuerdo a cada una de los aspectos involucrados en la amabilidad visual: temperatura de color correlacionada (TCC), visión al exterior y apariencia.

Temperatura de color correlacionada (TCC)

En este apartado, la metodología empleada fue dividida en dos partes: (1) medición de las coordenadas cromáticas x, y, Y, en cada uno de los escenarios, con colorímetro en modelo a escala; (2) cálculo de temperatura de color correlacionada (TCC).

La medición de la TCC fue realizada en un modelo a escala (1:20) de un espacio de 3 m x 6 m x 3 m (18 m²) (oficina de planta profunda) con aventanamiento unilateral de 1,4 m x 5 m (7 m²) (véase la Figura 4). La fuente iluminante empleada fue la radiación solar del mes de mayo (invierno en el hemisferio Sur). Los registros de las coordenadas cromáticas x, y, Y se efectuaron con un colorímetro KONICA-MINOLTA CS100. Dichos registros fueron realizados a la 9:00 a.m., 11:00 a.m., 13:00 p.m. y 15:00 p.m. horas para cada una de las diferentes orientaciones (N, S, E y O).

Sobre la ventana (vidrio claro de 3 mm) se posicionó cada una de las muestras correspondientes a los

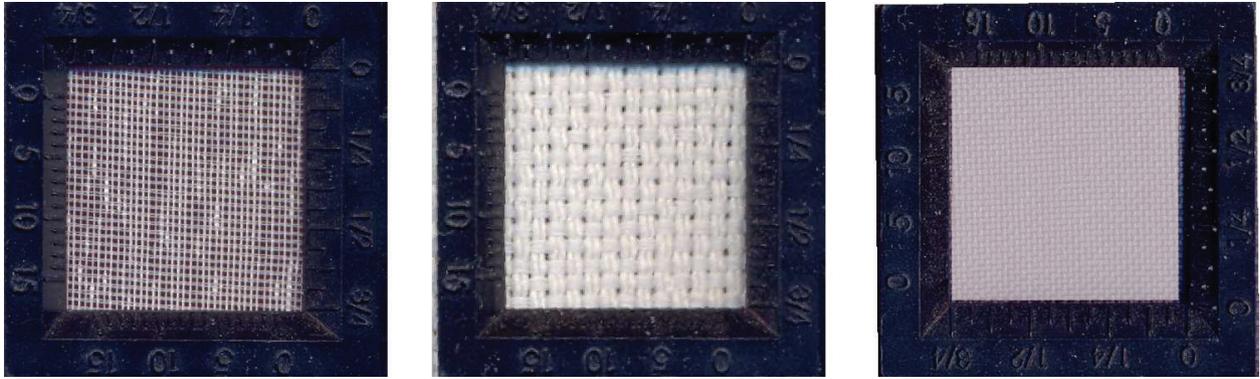


Figura 3. Cortinas textiles de interiores analizadas: (a) bual, (b) jackard y (c) tropical.
Figure 3. Analyzed interior textile curtains: (a) bual, (b) jacquard and (c) tropical.



Figura 4. Modelo a escala en el cual se efectuaron las mediciones de TCC.
Figure 4. Scale model in which CCT measurements were performed.

SCS analizados, para cada una de las orientaciones y en los horarios mencionados anteriormente. Los valores de coordenadas cromáticas (x, y, Y) correspondientes al triángulo de la CIE (Espacio Cromático CIE, 1931³) se transformaron a valores de temperatura de color correlacionada (TCC) (véase la Figura 5) mediante el Algoritmo de Mc Camy (Hernández-Andrés *et al.*, 1999) (1).

$$TCC[K] = a * n^3 + b * n^2 - c * n + d \quad (1)$$

Donde $n = (x - x_e) / (y - y_e)$, $x_e = 0,332$, $y_e = 0,1858$. $a = -449$, $b = 3525$, $c = 6823.3$ y $d = 5520.33$ son constantes.

La ecuación de Mc Camy ajusta correctamente para valores de TCC comprendidos entre 2000 – 12500 °K (Hernández-Andrés *et al.*, 1999).

Visión al exterior

Los cálculos de visión al exterior se realizaron mediante el uso combinado de dos software: DIVA y GLA. La herramienta DIVA (Design Iterate Validate Adapt) (Jakubiec e Reinhart, 2011) es una aplicación de análisis ambiental que opera en el modelo Rhinoceros Nurbs 3D (McNeel, 2010). DIVA realiza un análisis de luz natural en un modelo arquitectónico existente a través de la integración de RADIANCE y DAYSIM (Reinhart *et al.*, 2011). Para este estudio en particular se empleará con dos objetivos: (i) obtener imágenes ojo de pez desde el punto de observación del usuario y (ii) determinar el porcentaje de tiempo que permanecen abiertas los sistemas de sombreado móviles, en este caso las cortinas textiles interiores.

³ CIE 1931, corresponde a uno de los primeros espacios de color definidos matemáticamente. Fue establecido en 1931, por la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), basándose en una serie de experimentos realizados a finales de los años 1920 por W. David Wright y John Guild.

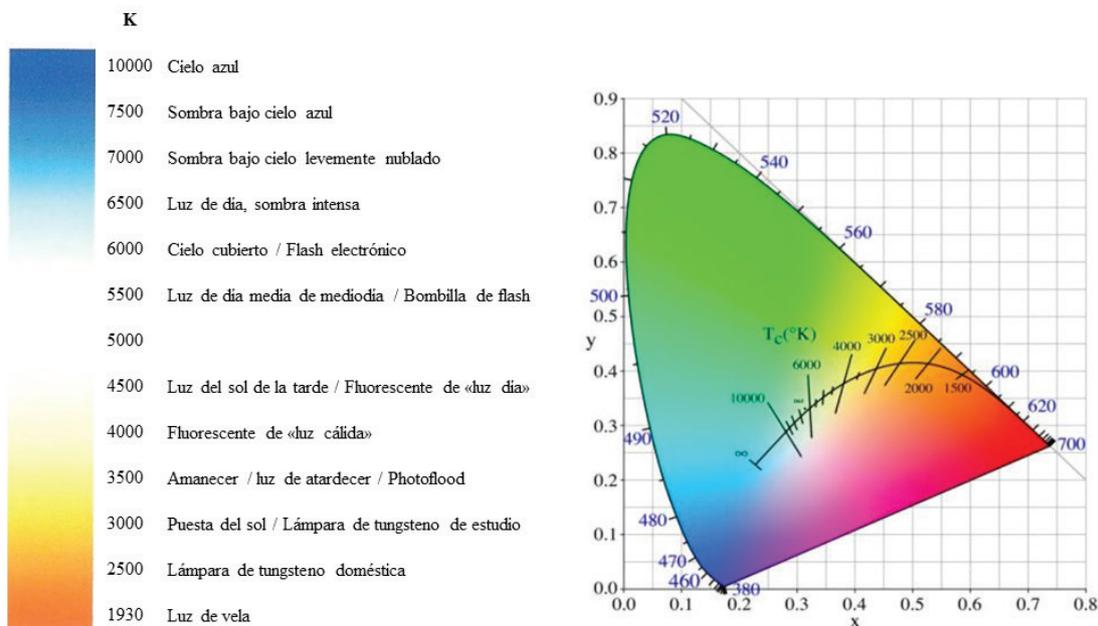


Figura 5. Escala de temperatura de color correlacionada. Espacio Cromático de la CIE (Wikimedia commons).
Figure 5. Scale of correlated color temperature. CIE xy chromaticity space (Wikimedia commons).

En primera instancia se generó el modelo virtual de iguales características que el espacio determinado como caso de estudio. La caracterización fotométrica del espacio interior se realizó de acuerdo a los valores típicos de reflectancia de piso (0.6), techo (0.8) y pared (0.6).

Posicionamiento de la grilla de medición: los sensores fueron dispuestos a la altura del plano de trabajo (80 cm por encima del piso), con una distribución homogénea en el espacio de 3 por 4 nodos. Este criterio se debe a las distintas disposiciones posibles de los puestos de trabajo.

Determinación del periodo de ocupación del espacio: el periodo de ocupación del espacio se estableció en un archivo de ocupación empleado por DIVA para el cálculo de las métricas dinámicas, en donde se determinó como periodo de uso del espacio: lunes a viernes de 9:00 a.m. a 17:00 p.m. Este archivo se creó de acuerdo al horario de uso más frecuente de las oficinas ubicadas en edificios no residenciales de la Ciudad de Mendoza.

Datos climáticos: el paquete climático utilizado corresponde a la base climática de la ciudad de Mendoza (ARG_MendozaCCT), generada a partir de la información brindada por la estación de medición de iluminación natural del Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA) – Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, ubicado en el Centro Científico y Tecnológico Mendoza (CCT Mendoza) (32°53' S y 68°51' O) (Monteoliva *et al.*, 2013). El modelo de conversión de datos de irradiancias globales horizontales en irradiancia directa se detalla en los trabajos de Monteoliva *et al.* (2012, 2013).

Parámetros de simulación:

Tabla 2. Parámetros de RADIANCE empleados.
Table 2. RADIANCE parameters.

Sistemas de control solar	Inter-reflexiones ambientales	Divisiones ambientales	Muestreo ambiental	Precisión ambiental	Resolución ambiental	Umbral directo	Sub-muestreo directo
Filtros de control solar - Cortinas textiles interiores	5	1000	20	0.1	300	0	0

Fuente: (Reinhart, 2006).

Las cortinas textiles interiores son sistemas móviles, por lo que se las caracterizó como sistemas dinámicos (regido por el algoritmo Lightswitch [Reinhart, 2004]); en el contexto de simulación, se desarrollaron dos posibilidades, completamente abierta o completamente cerrada. Esto permite determinar los periodos porcentuales anuales en que los sistemas de sombreado permanecen abiertos.

Para obtener las imágenes ojo de pez a partir de la simulación, se deben seleccionar los puntos y la dirección que tendrá la cámara, es decir, donde se ubica y hacia

donde mira el usuario. Esto se realiza posicionando la ventana “*vista de perspectiva*” de Rhinoceros Nurbs 3D de acuerdo al ángulo de visión que se desea evaluar. Si bien un usuario de este espacio puede adoptar distintas posiciones y con ello presentar distintos porcentajes de visión al exterior, para este trabajo, la cámara fue posicionada en la misma ubicación de los sujetos al realizar las encuestas de apariencia. De este modo, es posible correlacionar los dos análisis realizados. Posteriormente, las imágenes fueron analizadas con el software Gap Light Analysis, desarrollado por el Institute of Ecosystem Studies of the Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada. Este software empleado para análisis de estructuras forestales, en este estudio, fue usado para determinar el porcentaje de visión al exterior que tiene un usuario ubicado en una determinada posición. La lógica del software consiste en determinar que porcentajes de pixels corresponden a zonas obstruidas (espacio interior) y que porcentaje corresponde a zonas despejadas (aventanamiento), de acuerdo a las leyes de la geometría esférica a partir de imágenes ojo de pez.

Apariencia

El estudio fue desarrollado mediante el empleo de un modelo a escala (1:20) de un espacio interior. Uno de ellos, correspondiente a lo que denominaremos “cuarto de control o referencia”; y el otro, al “cuarto de testeo o evaluación”.

La instancia experimental fue desarrollada a lo largo de dos sesiones en días consecutivos (cielo claro-período invernal), en el horario matutino de 10:30 a.m. a 12:30 a.m. horas, con el objetivo de mantener similares condiciones a lo largo de todo el experimento. Este primer estudio exploratorio contó con la participación de 15 sujetos de edades entre los 25 y 34 años (Media = 29.13, DS = 2.503) pertenecientes al Centro Científico Tecnológico de Mendoza (CCT CONICET Mendoza).

A los modelos a escala les fueron asignadas las siguientes características: “cuarto de control” superficie transparentes de características CLEAR2 LO (vidrio), “cuarto de testeo” filtros fxst35, fxst20 y p18ar. Con el fin de evitar posibles errores por el intercambio de opiniones entre los sujetos, se aleatorizó el orden de presentación de los mismos (A/B/C - A/C/B - B/A/C - B/C/A - C/B/A - C/A/B).

El procedimiento de evaluación se realizó invitando a los sujetos a observar el interior del “cuarto de control” y a completar posteriormente un cuestionario sobre aspectos de percepción visual del espacio. Posteriormente se le pedía observar el “cuarto de testeo” (filtro A) y completar un segundo cuestionario. Se le permitía verificar sus respuestas con una nueva mirada sobre el “cuarto de control”. Una vez verificado y terminado el cuestionario dos, se le pedía al sujeto que abandone el área de experimentación.

Este apartado corresponde a un estudio exploratorio, por lo cual se limita al análisis de los escenarios con filtros de control solar dentro de los sistemas de control solar, previendo en futuros estudios un mayor número de sujetos encuestados.

Es importante mencionar que existen en la escala bipolar adjetivos positivos (deseables) y negativos (no deseables) para un adecuado acondicionamiento lumínico del espacio. La posición de los mismos, en los extremos de la escala -valores máximos (5) y valores mínimos (1)- fue alternada con la intención de mantener la atención del sujeto. Asimismo, fueron usadas preguntas de control -2c y 3a- con la intención de asegurar la consistencia del experimento. Las preguntas y la consistencia interna de la metodología utilizadas se basaron en estudios previos realizados por Dubois *et al.* (2007). Para la evaluación de la percepción de los usuarios a las distintas condiciones es realizado un ANOVA con un post-hoc, con el objetivo de identificar posibles diferencias estadísticamente significativas entre las percepciones de los usuarios y los espacios evaluados.

Tabla 3. Cuestionario.

Table 3. Questionnaire.

Factor	Pregunta	Indicador
Claridad	¿Cómo percibe el espacio?	A Claro - Oscuro
Iluminación Natural (IN)	¿Cómo describiría la iluminación natural en este espacio?	A Fría - Cálida
		B Sin Color - Coloreada
		C Borrosa - Marcada
		D Placentera - No Placentera
Sombras	¿Cómo describiría las sombras de los objetos y los alrededores de éstos (en el piso)?	A Borrosa - Marcada
Color	¿Cómo percibe el color de estos objetos?	A Natural - Artificial
		B Saturado - Desaturado
Iluminación Natural en el Exterior	¿Cuál es su impresión sobre la iluminación natural en el exterior del espacio?	A Débil - Fuerte
		B Deslumbrante - No Deslumbrante

Resultados

Temperatura de color correlacionada (TCC)

Los resultados de la medición indican que a las 9:00 a.m. horas en la orientación Este (véase la Tabla 4) se registran las TCC más bajas de la jornada, con un promedio de 5654 °K. Asimismo se observa que las TCC más elevadas se detectaron entre las 11:00 a.m. y las 15:00 p.m. horas para la orientación Sur. Los registros de TCC más elevadas (13205 °K) se manifiestan en el escenario que no presenta ningún tipo de sistema de control solar (SCS) en la ventana a las 11:00 a.m. y 15:00 p.m. horas, seguido por el espacio con SCS filtro p18ar a las 13:00 a.m. horas, en ambos casos para la orientación Sur. Por otra parte, las TCC más bajas (5133 °K) se detectaron a las 9:00 a.m. horas en el escenario con cortina tropical orientación Este.

Los resultados muestran diferencias de TCC de valores incluso superiores a los 4000 °K para distintos SCS en una misma hora y orientación (ej. tropical y filtro p18ar a las 13:00 p.m. horas en orientación Sur); como así también diferencias superiores a los 5000 °K para un mismo sistema en diferentes orientaciones (ej. filtro p18ar a las 13:00 a.m. al Sur y el mismo SCS a las 9:00 a.m. en el Este).

Focalizando el análisis por orientación, detectamos que en la orientación Norte no existen grandes diferencias entre las TCC de los distintos SCS para un mismo horario, siendo máxima esta diferencia a la 15:00 horas (1727 °K) entre el espacio que presenta filtro p18ar y el que exhibe cortina textil de tropical. Los valores de TCC que se registraron se encuentran entre los 5600 °K y 8000 °K (véase la Tabla 4). Existe una tendencia de los filtros de control solar, en la orientación Norte, a presentar valores ligeramente más elevados (más fríos) que los detectados cuando

no se emplea ningún SCS. Por el contrario, los ambientes con textiles tienden a presentar valores levemente menores al escenario sin sistema de control solar. Asimismo vemos que las variaciones que producen los SCS analizados para la orientación norte a lo largo de la jornada son mínimas, en promedio de un 4 %. Siendo máximas para el fxst35 (6 %) y mínimas para el filtro fxst20 (2 %).

En la orientación Sur, los resultados obtenidos evidenciaron importantes diferencias entre las TCC de cada uno de los sistemas de control solar (véase la Figura 6). Se observa que la diferencia más significativa (4005 °K), al igual que en la orientación Norte, se produce a las 13:00 horas entre el escenario de textil tropical y de filtro de control solar p18ar. Los ambientes con textiles, a excepción del bual, se mantienen en valores de TCC que van aproximadamente de los 6000 °K a los 8000 °K, cercanos a los que presentaban los SCS para la orientación Norte. Sin embargo, el espacio con textil bual –textil de mayor transmitancia– aumenta su TCC en esta orientación para todos los horarios registrados, en aproximadamente 2000 °K. El panorama para los escenarios con filtros de control solar es notoriamente distinto al que se registró para la orientación Norte; toman valores de TCC de entre 8000 °K (iluminación solar en un día con neblina) y 12000 °K (temperatura de color del cielo despejado) a partir de las 11:00 a.m., siendo cercanos a los 5000 °K a las 9:00 a.m. Resulta particularmente significativa la modificación de 3290 °K (promedio) que se genera en los escenarios con filtro entre las 9:00 a.m. y las 11:00 a.m. Si bien los escenarios con filtro presentan TCC altas (frías), es el espacio sin ningún SCS el que, para esta orientación, presenta valores más elevados de TCC (entre los 10000 °K y los 13200 °K).

Asimismo observamos que los textiles presentan una variación en su TCC a lo largo del día en promedio de 0.1, mientras que los filtros aumentaron su coeficiente de variación a un promedio de 0.18 (véase la Figura 7).

Tabla 4. TCC (°K) de cada uno de los sistemas de control solar analizados por hora y orientación.

Table 4. CCT (°K) of each of the solar control systems analyzed, per hour and orientation.

		Cortinas Textiles Interiores					Filtros de Control Solar		
		Sin SCS	vidrio	tropical	bual	jackard	p18ar	fxst35	fxst20
norte	09:00	5710	6393	5623	6142	5838	6979	6093	6520
	11:00	6151	6882	6145	6548	6318	6981	5958	6594
	13:00	6610	6428	5847	6340	6146	7429	6737	6567
	15:00	6151	6505	5834	6390	6185	7561	6660	6882
sur	09:00	10139	6882	6088	7144	6318	6981	5958	7012
	11:00	13205	9484	7631	8585	7674	10906	9602	9318
	13:00	11911	9898	7635	8512	7882	11640	9255	9259
	15:00	13205	9757	7767	8969	7879	10493	9062	9201
este	09:00	5573	5579	5133	5508	5312	6433	5733	5966
	11:00	7144	6801	6118	6554	6262	7990	6586	6996
	13:00	12127	6811	6108	7007	5890	8673	7440	7846

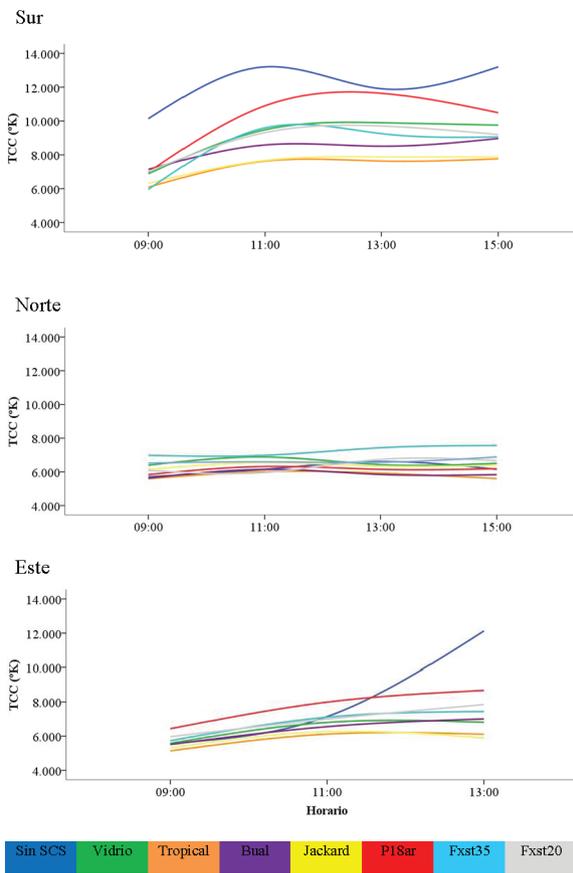


Figura 6. Diagramas de líneas que muestran la variación de la temperatura de color, para cada una de las orientaciones y sistemas de control solar, de acuerdo al horario.
Figure 6. Line chart showing the variation of the CCT for each of the orientations and solar control systems, according to time.

Resulta pertinente aclarar que los registros fueron recopilados de acuerdo a la hora estándar (-3); es por esto que las orientaciones Este-Oeste se presentan como simétricas con el eje a las 13:30 p.m. horas (correspondiente al medio día solar). Esto se debe a que en la ubicación geográfica (-32.89°, -68.84°) donde se efectuaron las mediciones existe un desfase de una hora treinta minutos entre la hora estándar y la hora solar.

Se observa que para la orientación Este, y simétricamente para el Oeste, se genera un aumento gradual de la TCC a lo largo de la jornada hasta el mediodía solar (véase la Figura 6). A partir de esta hora, la fachada Este presenta como fuentes de iluminación natural la luz difusa de la bóveda celeste y la reflejada del entorno, presentando por este motivo un comportamiento muy similar al de la orientación Sur. Esto se repite de manera inversa en la orientación Oeste. Los valores de TCC de los distintos escenarios para esta orientación oscilan entre los 5133 °K

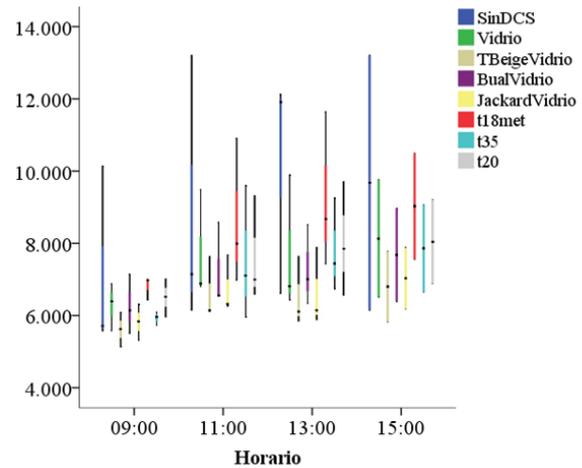


Figura 7. Diagramas de caja de los valores de temperatura de color registrados para cada uno de los escenarios de acuerdo a la orientación.
Figure 7. Boxplots of CCT values recorded for each of the scenarios according to the orientation.

y los 8700 °K. Asimismo, se advierte que los SCS atenúan el aumento en la TCC que se produce hacia las horas del mediodía en las que el aporte de la radiación solar directa disminuye de manera significativa por la posición del sol (azimut, altitud). De manera más puntual observamos que los ambientes con filtros de control solar presentan TCC más elevadas (más frías) que los textiles.

Del análisis del coeficiente de variación (CV) podemos reafirmar lo descrito anteriormente en relación a la fuerte variación (41 %) en la TCC que presenta el espacio con orientación Este cuando no está implicado ningún SCS. Sin embargo, esta variación disminuye cuando se incorpora un SCS, para el caso de los textiles con una variación promedio del 11 % (entre 5000 °K y 7000 °K) y del 14 % en los filtros (entre 5700 °K y 8700 °K) (véase la Tabla 5 y Figura 7).

Para cada uno de los escenarios en los que registró la TCC se tomaron fotografías (véase la Figura 8). Las modificaciones en el color del espacio que se perciben con facilidad en las imágenes amplían los horizontes del estudio de TCC y los SCS hacia el ámbito de la percepción. Es por esto que en futuros estudios se plantea la necesidad de registrar tomas fotográficas con balance de blanco y exposición controladas, para luego poder hacer estudios de percepción de color en el espacio a partir de imágenes fotográficas (Yun *et al.*, 2011).

Visión al exterior

A partir del empleo combinado de los simuladores DIVA y GLA se determinó que el porcentaje de visión al exterior que tiene un usuario ubicado en la posición

Tabla 5. Estadísticos para los valores de TCC orientación Norte, Sur y Este: σ (desviación estándar), media aritmética, CV (coeficiente de variación).

Table 5. Statisticians values for TCC orientation North, South, East: σ (standard deviation), arithmetic mean, CV (variation coefficient).

Orientación Norte								
	Sin SCS	vidrio	CTI tropical	CTI bual	CTI jackard	p18ar	fxst35	fxst20
σ	368	225	167	203	302	302	394	164
Media	6155	6552	6355	6122	7238	7237	6362	6641
CV	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.02
Orientación Sur								
	Sin SCS	vidrio	CTI tropical	CTI bual	CTI jackard	p18ar	fxst35	fxst20
σ	1973	1426	797	798	753	2071	1689	1217
Media	12615	9005	7280	8303	7438	10005	8470	8809
CV	0.16	0.16	0.11	0.10	0.10	0.21	0.20	0.14
Orientación Este								
	Sin SCS	vidrio	CTI tropical	CTI bual	CTI jackard	p18ar	fxst35	fxst20
σ	3422	709	566	769	479	1149	854	942
Media	8281	6397	5786	6356	5821	7699	6586	6936
CV	0.41	0.11	0.10	0.12	0.08	0.15	0.13	0.14



Figura 8. Fotografías de los distintos escenarios analizados. Imagen ojo de pez donde se observa la vista al exterior desde la posición del observador.

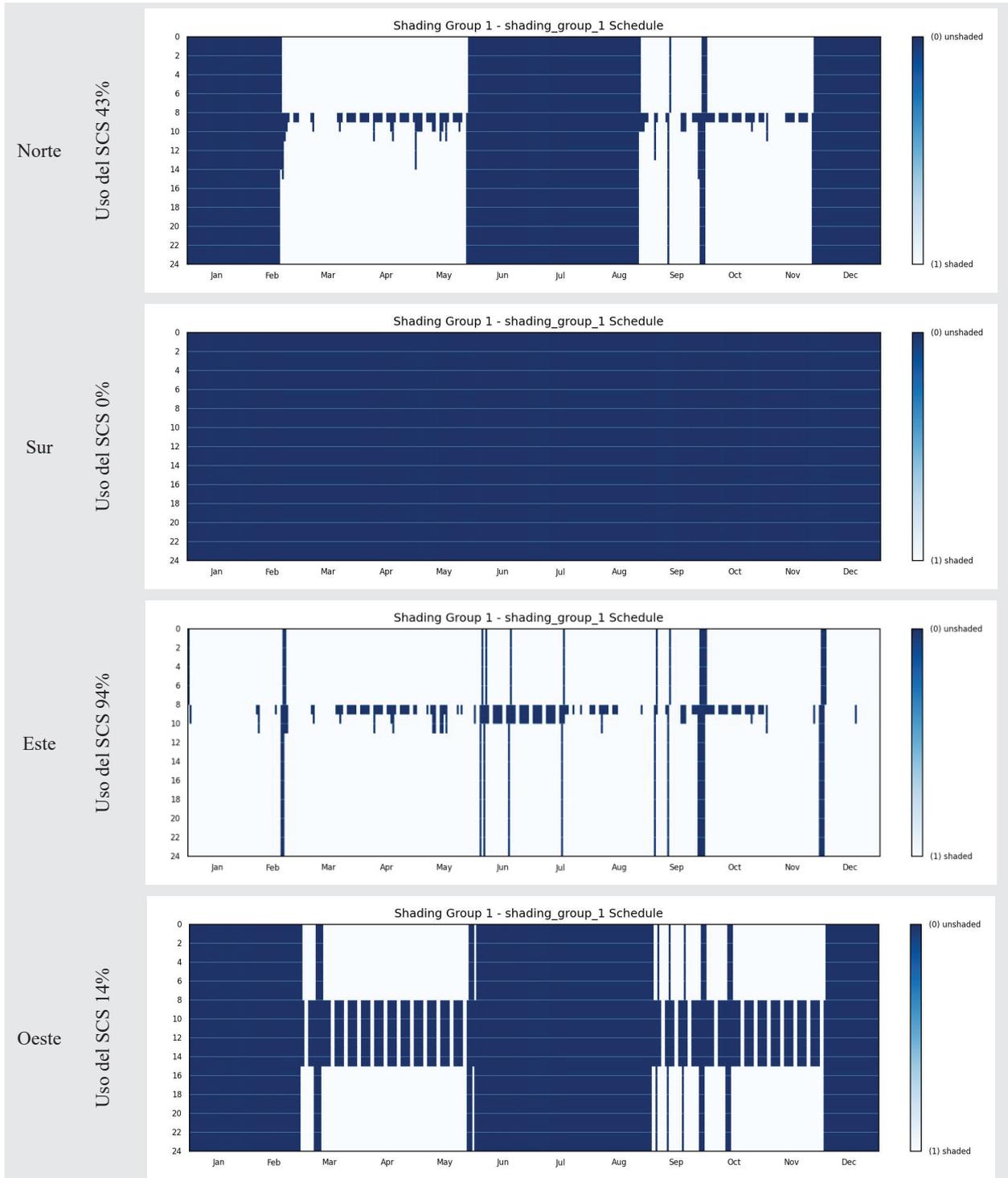
Figure 8. Photographs of the different scenarios analyzed. Fisheye image from the observer’s viewpoint.

de estudio es de un 7% (véase la Figura 8). Si bien esta situación es la que se presenta cuando el aventanamiento no está obstruido por ningún SCS, debemos considerar que para el caso de las cortinas textiles interiores esta situación se va a ver modificada debido a la posibilidad de regulación que presentan estos sistemas. Esto se ve claramente reflejado en el análisis de uso realizado en DIVA para las cortinas textiles interiores (véase la Tabla 6). Para la orientación Norte el 57% del tiempo de ocupación del espacio el sistema de sombreado permanece abierto, mientras que, en los periodos correspondientes a la media estación a partir de las 9:00 a.m. horas, estos deben cerrarse. Para la estación de invierno y verano se detecta

que los sistemas de sombreado permanecen abiertos. Esto en el caso del verano se debe a que la elevada altitud solar evita sobre la fachada Norte el ingreso de radiación solar directa y en el caso del invierno, si bien la incidencia de la radiación solar es más baja, los valores de radiación visible son menores (media estación: iluminancia promedio diaria 35183 lux; invierno iluminancia promedio diaria 15000 lux).

En el caso del espacio con ventanas orientadas al Sur observamos que el sistema de sombreado permanece abierto el 100 % del tiempo de ocupación del espacio. Esto se debe a que, en la orientación Sur, la incidencia de radiación solar directa es nula en los horarios de ocu-

Tabla 6. Predicción anual del uso de SCS (cortinas textiles interiores) en distintas orientaciones (N, S, E y O).
Table 6. Annual prediction of solar shading device (interior textile curtains) at different orientations (N, S, E and W).



pación del espacio, por lo que no resulta necesario el uso de sistemas de sombreado. Por otro lado, en el escenario con ventana al Oeste observamos que el sistema de sombreado permanece abierto durante toda la jornada en la

estación de verano y de invierno, cerrándose tan solo en las últimas horas de la jornada de uso del espacio en el periodo de media estación; esto se debe a que en la media estación los niveles de radiación incidentes son elevados

y la altitud solar es baja, es decir, cercana a la incidencia normal sobre la superficie de aventanamiento vertical.

En las imágenes de la Figura 8 se observa claramente que, cuando las cortinas textiles interiores se cierran, por un exceso de iluminación, la visión al exterior queda completamente anulada. Esto no ocurre en el caso de los filtros de control solar, que por más que su estado es constante (siempre cerrado), no se pierde la visual al exterior. Sin embargo, no implica que se perciba de la misma manera que en el caso de referencia (vidrio genérico).

Apariencia

A continuación en la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos del análisis ANOVA de un factor, donde se aplica la corrección de Bonferroni para las condiciones

experimentales (vidrio, fxst35, fxst20 y p18ar), siendo el nuevo valor de significancia $p < .01$. Posteriormente, se analiza la homogeneidad de las varianzas a través del estadístico de Levene, para las preguntas estadísticamente significativas con el objetivo de seleccionar los estadísticos post-hoc. Los resultados son incorporados a la Tabla 7.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en los estudios post-hoc. Debido a los resultados obtenidos en el Estadístico de Levene, se propone presentar los resultados de post-hoc a través del criterio de preguntas estadísticamente significativas: (i) con varianzas desiguales aplicando post-hoc de Tamhane + corrección de Bonferroni y (ii) con varianzas homogéneas aplicando post-hoc HDS de Turkey + corrección de Bonferroni. Cabe destacar que para ambos casos la corrección de Bonferroni establece un nuevo valor de significancia $p < .01$.

Tabla 7. Prueba ANOVA de un factor. Prueba de homogeneidad de varianzas.

Table 7. One-way ANOVA test. Test of homogeneity of variances.

		ANOVA					Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
P1	Inter-grupos	29,917	3	9,972	10,393	0,000*	5,613	3	56	,002
	Intra-grupos	53,733	56	0,96						
	Total	83,65	59							
P2a	Inter-grupos	5,917	3	1,972	1,441	0,241				
	Intra-grupos	76,667	56	1,369						
	Total	82,583	59							
P2b	Inter-grupos	12,6	3	4,2	2,878	0,044				
	Intra-grupos	81,733	56	1,46						
	Total	94,333	59							
P2c	Inter-grupos	28,317	3	9,439	9,461	0,000*	3,767	3	56	,016
	Intra-grupos	55,867	56	0,998						
	Total	84,183	59							
P2d	Inter-grupos	8,05	3	2,683	1,786	0,16				
	Intra-grupos	84,133	56	1,502						
	Total	92,183	59							
P3	Inter-grupos	27,533	3	9,178	9,661	0,000*	1,022	3	56	,390
	Intra-grupos	53,2	56	0,95						
	Total	80,733	59							
P4a	Inter-grupos	28,583	3	9,528	6,507	0,001*	,522	3	56	,669
	Intra-grupos	82	56	1,464						
	Total	110,583	59							
P4b	Inter-grupos	19,6	3	6,533	4,39	0,008*	1,274	3	56	,292
	Intra-grupos	83,333	56	1,488						
	Total	102,933	59							
P5a	Inter-grupos	50,317	3	16,772	21,411	0,000*	,254	3	56	,858
	Intra-grupos	43,867	56	0,783						
	Total	94,183	59							
P5b	Inter-grupos	46,317	3	15,439	18,062	0,000*	5,444	3	56	,002
	Intra-grupos	47,867	56	0,855						
	Total	94,183	59							

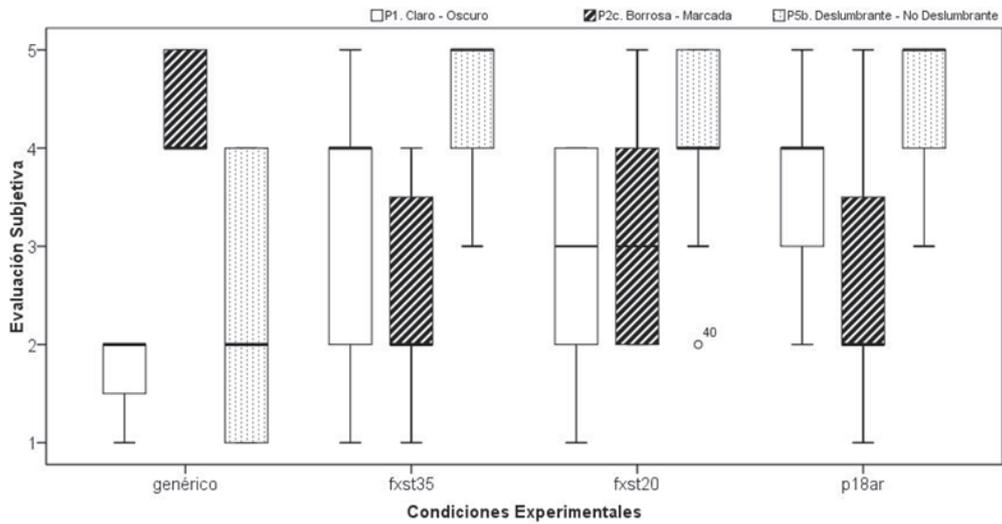


Figura 9. Diagramas de caja de los resultados correspondientes a las preguntas P1, P2c y P5b estadísticamente significativas en el análisis ANOVA.

Figure 9. Box plots of results corresponding to questions: P1, P5b and P2c statistically significant in the ANOVA analysis.

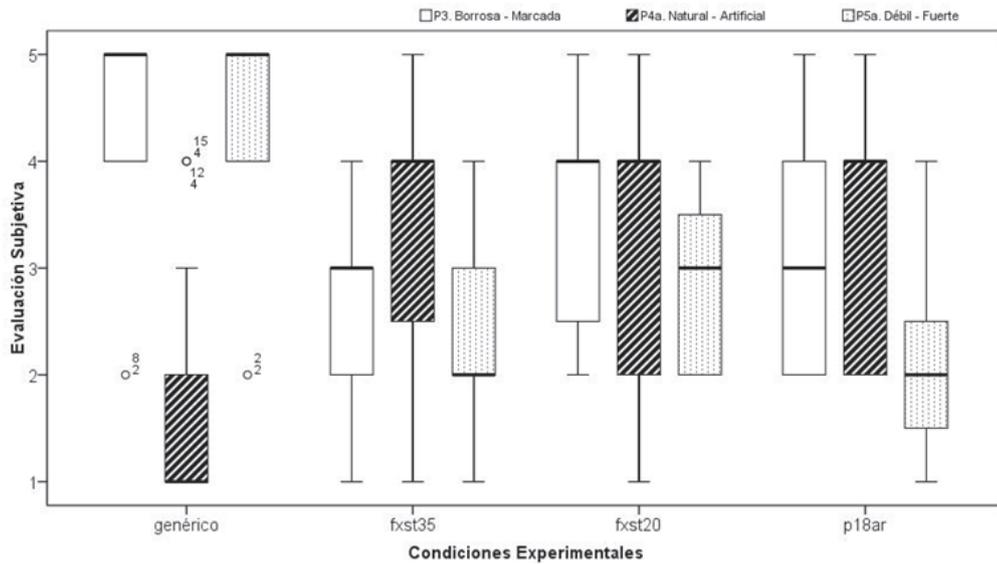


Figura 10. Diagramas de caja de los resultados correspondientes a las preguntas P3, P4a y P5a estadísticamente significativas en el análisis ANOVA.

Figure 10. Box plots of results corresponding to questions: P3, P4a and P5a statistically significant in the ANOVA analysis.

(ii) *Varianzas desiguales: post-hoc Tamhane + corrección de Bonferroni ($p < .01$)*

Pregunta (P1): ¿Cómo percibe el espacio? ($F(3,56) = 10.393, p = .000$). Posteriormente, en el análisis post-hoc se obtiene para las condiciones de fxst35 ($3.13 \pm 1.246, p = .004$) y p18ar ($3.67 \pm 0.9, p = .000$) que el ambiente no es percibido como claro ni oscuro, sino inter-

medio, a comparación del vidrio de referencia considerado claro (1.73 ± 0.458).

Pregunta (P2c): ¿Cómo describiría la iluminación natural en este espacio? ($F(3,56) = 9.461, p = .000$). En el análisis post-hoc se obtiene para las condiciones fxst35 ($2.53 \pm 1.06, p = .000$), fxst20 ($3.20 \pm 1.082, p = .009$) y p18ar ($2.8 \pm 1.207, p = .001$) una percepción de la iluminación natural en el interior del espacio levemente borrosa

a comparación del vidrio de referencia considerada levemente marcada (4.33 ± 0.488).

Pregunta (P5b). ¿Cuál es su impresión sobre la iluminación natural en el exterior de este espacio? ($F(3,56) = 18.062$, $p = .000$). En el análisis post-hoc se obtiene para las condiciones fxst35 (4.6 ± 0.632 , $p = .000$), fxst20 (4.07 ± 0.884 , $p = .002$) y p18ar (4.47 ± 0.743 , $p = .000$) una percepción de la iluminación del exterior levemente deslumbrante a comparación del vidrio de referencia (2.4 ± 1.298) considerada levemente no deslumbrante.

(ii) *Varianzas homogéneas: post-hoc HDS de Turkey + corrección de Bonferroni ($p < .01$)*

Pregunta (P3): ¿Cómo describiría las sombras de los objetos y los alrededores de éstos? ($F(3,56) = 9.661$, $p = .000$). En el análisis post-hoc se obtienen para las condiciones fxst35 (2.73 ± 0.884 , $p = .000$) y p18ar (3.07 ± 1.1 , $p = .001$) sombras percibidas neutras. Es decir, no son percibidas ni como marcadas ni borrosas a comparación del vidrio de referencia (4.53 ± 0.834) consideradas levemente marcadas.

Pregunta (P4a): ¿Cómo percibe el color de estos objetos? ($F(3,56) = 6.507$, $p = .001$). En el análisis post-hoc se obtiene para las condiciones fxst35 (3.27 ± 1.387 , $p = .005$), fxst20 (3.2 ± 1.146 , $p = .008$) y p18ar (3.47 ± 1.187 , $p = .001$) una percepción de los colores de los objetos ni natural ni artificial, sino intermedia a comparación del vidrio de referencia (1.73 ± 0.284) considerados naturales.

Pregunta (P5a): ¿Cuál es su impresión sobre la iluminación natural en el exterior de este espacio? ($F(3,56) = 21.411$, $p = .000$). En el análisis post-hoc se obtiene para las condiciones fxst35 (2.27 ± 0.961 , $p = .000$), fxst20 (2.8 ± 0.862 , $p = .000$) y p18ar (2.07 ± 0.884 , $p = .000$) la percepción de la iluminación del exterior como levemente débil a comparación del vidrio de referencia (4.4 ± 0.828) considerada levemente fuerte.

Discusión

Del análisis realizado se evidencia que los sistemas de control solar (SCS) tienen un fuerte impacto sobre la TCC; en general detectamos que los ambientes cuyas ventanas con textiles presentan TCC menores que los que se protegen con filtros, una diferencia promedio de $1000 \text{ }^\circ\text{K}$. A su vez, se observa que los textiles dan mayor estabilidad en la TCC a distintas horas del día que los filtros de control solar. Aun así los filtros de control solar atenúan las modificaciones de la TCC que se presentan al no usar SCS, sobretodo en los casos en los que la radiación recibida es la radiación difusa de la bóveda celeste como el caso de la orientación Sur y Este –en la tarde– y Oeste –en la mañana–.

Asimismo resulta de fundamental importancia contemplar las variaciones en los comportamientos, en la

relación a la TCC, de los distintos sistemas de sombreado según la orientación de la abertura. Son los escenarios con filtros de control solar los que con mayor énfasis reflejan las modificaciones de los aportes radiativos en el espectro visible, con una variación promedio de $2300 \text{ }^\circ\text{K}$ entre la orientación Norte y la Sur en un mismo horario, siendo esta variación para el caso de los textiles de $1500 \text{ }^\circ\text{K}$.

La visión al exterior en el caso de los filtros de control solar es constante. Es decir, siempre se cuenta con la posibilidad de mirar hacia el exterior. Sin embargo, la percepción del usuario se ve modificada. Esto se evidencia en las preguntas referidas a las condiciones de la iluminación natural en el exterior del espacio, donde los usuarios perciben en los escenarios con filtros una menor luminosidad debido a la transmitancia disminuida de estos SCS. En relación a las cortinas textiles interiores (sistemas móviles), la visión al exterior va a estar determinada por la orientación del aventanamiento y la época del año. Por ejemplo, en la orientación Sur los sistemas de cortinado permanecen abiertos durante toda la jornada (no hay incidencia de radiación solar directa), presentando un comportamiento, respecto a la visión al exterior, similar al de los filtros. Sin embargo, presenta la ventaja modificar menos la distribución espectral de la luz solar. Por otra parte, en el resto de las orientaciones, particularmente en la Norte y en la Este, el riesgo de deslumbramiento condiciona la vista al exterior.

Respecto del análisis de apariencia detectamos que:

- en los escenarios con filtros de control solar, si bien la vista al exterior se mantiene, la transmitancia visible del sistema disminuye, generando que el espacio con vidrio se perciba más claro que los que presentan filtros de control solar. La disminución de la transmitancia visible también se ve reflejada en la atenuación de los patrones de luz y sombra percibidos en los escenarios con filtros de control solar respecto del escenario con vidrio –sin SCS–.
- la modificación en la percepción del color de los objetos se debe a la condición de selectividad espectral que presentan los filtros de control solar (véase la Figura 2). Esto conduce a reflexionar y profundizar en la correlación que existe entre las curvas de transmitancia de los distintos elementos empleados, la percepción de los sujetos encuestados y la curva de sensibilidad espectral del ojo humano. Uno de los elementos traslúcidos que mejor reproduce la sensibilidad espectral del ojo humano es el vidrio, mientras que los SCS, como los filtros, absorben o reflejan una gran parte de la radiación correspondiente a la zona de sensibilidad espectral humana, generando una modificación de la percepción en los colores de los objetos y el entorno.

A partir de este estudio, actualmente se encuentran en desarrollo nuevas instancias experimentales que incorporan otras orientaciones y horarios, respondiendo al actual paradigma de análisis dinámico de la iluminación natural.

Conclusiones

Este estudio revela la necesidad de la implementación de las estrategias de sombreado y su aplicación de acuerdo a los principios bioclimáticos: (1) diferenciación de acuerdo a la orientación de la abertura del espacio; (2) implementación de acuerdo al tipo de cielo característico de cada región.

Respecto del efecto que ejercen los dispositivos de control solar sobre la TCC de la fuente de luz natural se destacan dos aspectos: por un lado, los sistemas de control solar homogenizan las variaciones en la TCC a lo largo de la jornada para todas las orientaciones; por otro lado, se distingue con claridad que las cortinas textiles interiores analizadas en este estudio modifican la TCC de la luz hacia los colores más cálidos (6400 °K), mientras que los filtros de control solar tienden a valores de TCC más elevados (7600 °K), es decir, colores más fríos.

Por otra parte, este trabajo evidencia la necesidad de que los estudios de amabilidad visual, al igual que los de usabilidad visual del espacio, deben realizarse dentro de un paradigma dinámico debido a la característica propia de la fuente de luz natural, el sol, contemplando diferentes horas del día y periodos estacionales del año. De esta manera, y con el compromiso de los proyectistas, estaremos en condiciones de alcanzar soluciones efectivas que combinen metodologías objetivas y subjetivas de análisis y mejoren las condiciones de la iluminación en los espacios interiores.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente la colaboración en este trabajo de la Dra. Lorena Córlica y de la D.I. Julieta Yamín.

Referencias

- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. 1993. *Daylighting in architecture: A European reference book*. London, James & James Science Publishers, 380 p.
- BODART, M.; DE PEÑARANDA, R.; DENEYER, A.; FLAMANT, G. 2008. Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools. *Building and Environment*, **43**(12):2046-2058. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.12.006>
- BOYCE, P.R.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. 2003. *The Benefits of Daylight through Windows*. New York, Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. Troy, New York, 12 of September.
- BOYCE, P.R.; VEITCH, J.A.; NEWSHAM, G.R.; JONES, C.C.; HEERWAGEN, J.; MYER, M.; HUNTER, C.M. 2006. Lighting quality and office work: Two field simulation experiments. *Lighting Research and Technology*, **38**(3):191-223. <http://dx.doi.org/10.1191/1365782806lrt1610a>
- CHAIN, C.; DUMORTIER, D.; FONTOYNONT, M. 2001. Consideration of daylight's colour. *Energy and Buildings*, **33**(3):193-198. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00081-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00081-5)
- CHAUVEL, P.; DOGNIAUX, R. 1982. Glare from windows: Current views of the problem. *Lighting Research & Technology*, **14**(1):31-46. <http://dx.doi.org/10.1177/096032718201400103>
- CHIRARATTANANON, S.; CHAIWIWATWORAKUL, P.; PATTANASETHANON, S. 2002. Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok. *Renewable Energy*, **26**(1):69-89. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00099-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00099-4)
- CLIMATE CHANGE. 2014. *2014: Mitigation of Climate Change*. IPCC 5th Assessment Report. 12th Session of Working Group III and the 39th Session of the IPCC. Berlin, Germany.
- CÓRICA, L. 2009. *Comportamiento de la luz natural en entornos urbanos representativos del modelo oasis en regiones áridas: Caso de estudio: ciudad de Mendoza*. San Miguel de Tucumán. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, 229 p.
- DOULOS, L.; TSANGRASSOULIS, A.; TOPALIS, F. 2008. Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic. *Energy and Building*, **40**(1):36-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.019>
- DUBOIS, M.C.; CANTIN, F.; JOHNSEN, K. 2007. The effect of coated glazing on visual perception: A pilot study using scale models. *Lighting Research Technology*, **39**(3):283-304. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153507080074>
- FONTOYNONT, M. 2002. Perceived performance of daylighting systems: Lighting efficacy and agreeableness. *Solar Energy*, **73**(2):83-94. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00035-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00035-X)
- GALASIU, A.D.; VEITCH, J.A. 2006. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: A literature review. *Energy and Buildings*, **38**(7):728-742. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001>
- GAP LIGHT ANALIZER V. 2.0. 1999. Simon Fraser University, Institute of Ecosystem Studies.
- HEERWAGEN, J.; ORIENS, G. 1986. Adaptations to windowlessness: A study of visual décor in windowed and windowless offices. *Environment and Behavior*, **18**(5):623-639. <http://dx.doi.org/10.1177/0013916586185003>
- HERNÁNDEZ-ANDRÉS, J.; LEE, R.L.; ROMERO, J. 1999. Calculating correlated color temperatures across the entire gamut of daylight and skylight chromaticities. *Applied Optics*, **38**(27):5703-5709. <http://dx.doi.org/10.1364/AO.38.005703>
- HESCHONG, L. 2003. *Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment*. California Energy Commission. Technical Report. Heschong Mahone Group, Inc. October.
- JAKUBIEC, A.; REINHART, C.F. 2011. DIVA 2.0: integrating daylight and thermal simulations using RHINOCEROS 3D, DAYSIM and ENERGYPLUS. In: Conference of International Building Performance Simulation Association, 12, Sydney, 2011. *Proceedings... Building Simulation 2011*, p. 2202-2209.
- JENKINS, D.; NEWBOROUGH, M. 2007. An approach for estimating the carbon emissions associated with office lighting with a daylight contribution. *Applied Energy*, **84**(6):608-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.02.002>
- KEYES, M.W. 1967. Analysis and rating of drapery materials used for indoor shading. *ASHRAE Transactions*, **73**(1):8.4.1.
- KÖSTER, H. 2004. *Dynamic Daylighting Architecture: Basics, Systems, Projects*. Basel, Birkhäuser, 463 p.
- KRARTI, M.; ERICKSON, P.M.; HILLMAN, T.C. 2005. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building and Environment*, **40**(6):747-754. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.08.007>
- KURIAN, C.P.; AITHAL, R.S.; BHAT, J.; GEORGE, V.I. 2008. Robust control and optimization of energy consumption in daylight-artificial light integrated schemes. *Light Research and Technology*, **40**(1):7-24. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153507079511>

- LI, D.H.W. 2010. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. *Applied Energy*, **87**(7):2109-2118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.004>
- LI, D.H.W.; LAM, J.C. 2001. Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. *Energy and Building*, **33**(8):793-803. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00067-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00067-6)
- LI, D.H.W.; LAM, T.N.T.; WONG, S.L. 2006. Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming controls. *Energy Conversion and Management*, **47**(9-10):1133-1145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2005.06.016>
- LI, D.H.W.; LAM, T.N.T.; WONG, S.L.; TSANG, E.K.W. 2008. Lighting and cooling energy consumption in an open plan office using solar film coating. *Energy*, **33**(8):1288-1297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2008.03.002>
- LI, D.H.W.; LAM, T.N.T.; CHAN, W.W.H.; MAK, A.H.L. 2009. Energy and cost analysis of semitransparent photovoltaic in office building applications. *Applied Energy*, **86**(5):722-729. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.009>
- MATUSIAK, B.; FRIDELL ANTER, K.; ANGELO, K.; GUICHARD, J. 2012. Colour shifts behind modern glazings. SYN-TES report 7. Technical Report. June 2012.
- McNEEL, R. *et al.* 2010. Rhinoceros Version 4.0, Service Release 8.
- MONTEOLIVA, J.M.; VILLALBA, A.; PATTINI, A. 2012. Impacto de la utilización de bases climáticas regionales en la simulación de alta precisión de iluminación natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **16**(1):57-64.
- MONTEOLIVA, J.M.; VILLALBA, A.; PATTINI, A. 2013. Uso de bases climáticas regionales y su impacto en la simulación de la iluminación natural de alta precisión. *Revista de Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, **31**:37-44.
- PATTINI, A.E. 2007. *Eficiencia lumínico-térmica de dispositivos de control y difusión de luz solar aplicables a ventanas en aulas, en la provincia de Mendoza*. San Miguel de Tucumán. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán, 171 p.
- REINHART, C.F. 2004. Lightswitch 2002: A model for manual control of electric lighting and blinds. *Solar Energy*, **77**(1):15-28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.003>
- REINHART, C.F. 2006. *Tutorial on the Use of DAYSIM Simulations for Sustainable Design*. Ottawa, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada.
- REINHART, C.F.; LAGIOS, K.; NIEMASZ, J.; JAKUBIEC, A. 2011. DIVA for Rhino Version 2.0. Available at: <http://www.diva-for-rhino.com/>. Accessed on: 03/11/2014.
- ROCHE, L.; DEWEY, E.; LITTLEFAIR, P. 2000. Occupant reactions to daylight in offices. *Lighting Research and Technology*, **32**(3):119-26. <http://dx.doi.org/10.1177/096032710003200303>
- RUCK, N.; ASCHEHOUG, O.; AYDINLI, S.; CHRISTOFFERSEN, J.; COURRET, G.; EDMONDS, I.; JAKOBIK, R.; KISCHKOWEIT-LOPIN, M.; KLINGER, M.; LEE, E.; MICHEL, L.; SCARTEZZINI, J.L.; SELKOWITZ, S. 2000. *Daylight in buildings: A source book on daylighting systems and components*. Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory – International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, SHC, Energy Conservation in buildings and Community Systems Programme, 262 p.
- SHAFIEE, S.; TOPAL, E. 2008. An econometrics view of worldwide fossil fuel consumption and the role of US. *Energy Policy*, **36**(2):775-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.002>
- STEVEN WINTER ASSOCIATES. 2011. Net Zero Energy Buildings. National Institute of Building Sciences. Available at: <http://www.wbdg.org/resources/netzeroenergybuildings.php>. Accessed on: 03/11/2014.
- VILLALBA, A.; PATTINI, A.; CÓRICA, L. 2012. Diagnóstico morfológico descriptivo de las envolventes según su interacción con el clima luminoso. *Ambiente Construido*, **12**(4):159-175. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000400011>
- WEBB, A.R. 2006. Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy and Buildings*, **38**(7):721-727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.004>
- YUN, G.Y.; SHIN, J.Y.; KIM, J.T. 2011. Influence of window views on the subjective evaluation of discomfort glare. *Indoor Built Environment*, **20**(1):137-147.

Submetido: 03/11/2014

Aceito: 05/08/2016