

46. Estimación del efecto de la luz solar como generadora de contraste en el entorno urbano mediterráneo

Lopez-Besora, Judit^(1,*), Coch, Helena⁽¹⁾, Isalgue, Antonio⁽¹⁾

(*)Arquitectura & Energia, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, UPC.
Barcelona, judit.lopez.besora@upc.edu, +34 93 410 08 68

(1) Arquitectura & Energia, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, UPC.
Barcelona

Resumen El entorno visual en los países mediterráneos se caracteriza por un importante contraste lumínico. La verticalidad del sol y una elevada frecuencia de días con cielo despejado definen un entorno visual donde conviven superficies bañadas por el sol y otras en sombra. La mayor parte del tiempo, las condiciones atmosféricas propician esta condición dual que genera un elevado contraste entre sol y sombra así como entre espacios exteriores e interiores. Además, la sombra mediterránea tiene diferentes grados de luminosidad dependiendo del contexto. La forma de la ciudad, su arquitectura y las características de la luz, determinan el aspecto del entorno iluminado, entendido éste como una sucesión de escenas visuales compuestas básicamente por fachadas, pavimentos y cielo con diferentes valores de luminancia. Es paradójico que, en entornos como el Mediterráneo, donde la disponibilidad de luz natural está claramente por encima del mínimo necesario, se utilicen elevados niveles de luz artificial en los interiores para contrarrestar los efectos del contraste generado con el exterior. Un diseño de iluminación más eficiente debería incorporar criterios sostenibles que integren el conocimiento del entorno luminoso exterior y que permitan deducir el contraste esperado con el interior del edificio. Como aproximación a esta situación, se estableció una metodología de análisis del entorno luminoso mediterráneo, y se aplicó a un caso de estudio representativo de este exterior. Los resultados permitieron poner a prueba del método y aproximar la magnitud del contraste existente entre el interior y el exterior en un entorno mediterráneo concreto, apuntando resultados para posteriores estudios.

Palabras clave Luz diurna, Eficiencia, Ciudad Mediterránea, Luminancia, Contraste

1 Introducción

Luz y entorno Mediterráneo son dos conceptos estrechamente relacionados. En dicho entorno, existe una enorme disponibilidad de luz natural propiciada por la elevada presencia de cielos despejados (Baker et al. 1993) que hace que arquitectos y urbanistas tengan que gestionar una gran cantidad de luz directa en sus proyectos y al mismo tiempo abordar el alto contraste que se genera por la existencia simultánea de luz y sombra. Esta situación es especialmente extrema durante el verano, cuando el sol incide con intensidad y las superficies reflejan una gran cantidad de luz. Una de las consecuencias de esta intensidad es que las escenas urbanas presentan un alto contraste de luminancia dentro de la misma escena y también entre unas y otras. Como se ha dicho al principio, el tipo de cielo más frecuente en un entorno mediterráneo es el cielo despejado (ISO, 15469:2004). Este tipo de cielo se caracteriza por no tener una luminancia elevada, sino menor que determinadas superficies claras que están iluminadas directamente por el sol. Sin embargo, en entornos donde es más frecuente la presencia de cielos cubiertos, los valores de luminancia de la bóveda celeste son mayores que en el caso de cielos despejados; sin embargo, los valores de cielo cubierto en comparación con las superficies urbanas que no reciben luz directa sino difusa no son tan distintos y por lo tanto el contraste lumínico es menor. Así como en la literatura científica podemos obtener información sobre valores de iluminancia sobre superficies horizontales en climas cálidos como el mediterráneo (Baker et al. 1993), o sobre el análisis espectral de la luz natural (Hernández-Andrés et al. 2001), existen escasos estudios sobre los valores y la distribución de luminancia en entornos urbanos de estas características, ya que la mayoría de ellos se centra en el estudio de la luz difusa, más fácil de predecir.

La presencia de luz directa en el exterior lleva a situaciones como la que se experimenta al entrar en un edificio desde un entorno soleado. En estos casos, el observador sufre un tipo de ceguera instantánea que se explica por el proceso de adaptación visual. Según este proceso, el sistema visual necesita algunos segundos, incluso minutos, para recuperar una visión completa adaptada al nuevo nivel de iluminación, considerablemente más bajo que el del exterior. La visión en estos espacios, llamados de transición, es objeto de estudio en algunos trabajos (Lasagno et al. 2011; Araji et al. 2007; Lopez-Besora, 2015) donde se recurre a la arquitectura y al diseño para paliar este efecto. Sin embargo, la solución que se plantea en la mayoría de espacios es un aumento de la iluminancia hasta niveles muy elevados, con el consecuente derroche energético.

Tradicionalmente, la arquitectura mediterránea ha incorporado filtros, elementos de sombra y otros mecanismos de control para suavizar los efectos de la entrada de radiación directa en los espacios interiores (Ruggiero et al. 2009) que contribuyen a reducir la carga térmica y a crear entornos uniformemente iluminados o con una transición gradual (Araji et al. 2007). Sin embargo, hoy en día la situación es diferente. Como el intenso flujo de luz natural es difícil de gestionar, la gran

mayoría de ambientes están controlados e iluminados de manera artificial, lo que conduce a ambientes con atmósferas monótonas y excesivamente iluminadas en las que el dinamismo de la luz natural no está presente y que promueven un gasto energético adicional. Para afrontar esta situación es necesario avanzar en el conocimiento del entorno luminoso producido en los exteriores urbanos como paso previo para estimar el contraste que se puede producir con el interior.

El objetivo de este trabajo es plantear una metodología que permita una descripción del entorno visual mediterráneo en contexto urbano capaz de ofrecer información sobre el rango de valores de luminancia fuera del edificio y, con esta información, contribuir a racionalizar el diseño de iluminación de espacios y edificios. Se pretende conocer qué valores de luminancia son los esperados en una escena visual situada en un entorno urbano mediterráneo, y de qué manera están distribuidos dentro de la escena. Esto permitirá compararlos con los valores de un interior en un estadio posterior y ver qué zonas de la escena son las que presentan un mayor contraste. Para lograr este objetivo, se realizó una descripción geométrica de la escena visual de modo general, y se tomaron mediciones de luminancia en un caso de estudio situado en un entorno real que sirviera para testear este método. El trabajo consistió en recopilar información en dicho caso de estudio y el posterior procesado de datos según la metodología establecida.

Con todo ello se realizó una definición del entorno visual mediterráneo para un caso de estudio representativo. No obstante, cabría incorporar más casos de estudio en otras localizaciones con tal de tener más datos y contrastarlos con los obtenidos en este caso. Aparte de esto, la metodología propuesta es aplicable a otros climas y permitiría extraer las características de otros entornos visuales.

2 Caso de estudio

La metodología se llevó a cabo en el exterior de un edificio localizado en Tarragona (España). Se eligió este caso concreto por la facilidad de identificar separadamente la zona de pavimento, fachada y cielo en un entorno urbano de poca densidad. Los colores de acabado son claros, como sucede a menudo en la arquitectura mediterránea, lo que permite extrapolar los resultados a otros tipos de arquitectura de este clima. Con este caso de estudio se pretende ilustrar el procedimiento y mostrar los valores de luminancia correspondientes a este contexto específico.

El edificio aloja oficinas de uso privado en dos bloques paralelos conectados por una zona de recepción. Los bloques tienen orientación este-oeste y fachadas blancas y están compuestos por planta baja y una planta piso (Fig. 1). La campaña de observación y mediciones tuvo lugar en julio de 2013, a mediodía (entre las 13:00 y 14:00 pm), para captar el momento de mayor incidencia solar en el clima Mediterráneo. Consistió en la toma de una serie de fotografías y mediciones de luminancia en puntos específicos frente la entrada del edificio.



Fig. 1 Situación del edificio y vista de la entrada

3 Metodología

Para abordar las características lumínicas de la escena visual en el contexto urbano mediterráneo se decidió tomar como parámetro de medición la luminancia, ya que dicho parámetro aporta información sobre la luminosidad que presentan las superficies. Para comprobar su distribución en la escena visual, ésta se dividió en zonas que mostraran características similares, y realizar así el análisis para cada una de ellas. La metodología consta de dos partes: la primera consiste en el análisis de la escena visual urbana; en la segunda, se evalúan y comparan los datos de las mediciones y las fotografías con tres procedimientos diferentes.

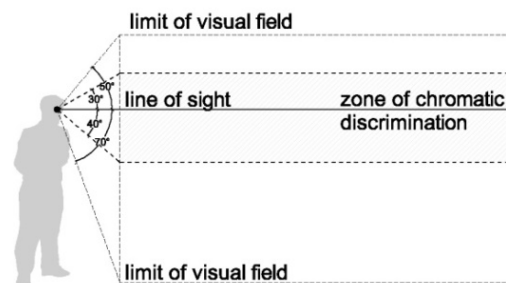
3.1 Escena visual

El análisis de la escena visual en áreas urbanas es una tarea compleja que puede simplificarse si se realiza un planteamiento abstracto. Esto significa que las partes esenciales (o superficies) de la ciudad que definen la escena visual deben ser integradas en un marco geométrico de referencia. Una vez definidas, cualquier entorno urbano puede ser descrito en términos de composición y proporción, permitiendo el análisis de cualquier escena urbana.

Antes de entrar en su análisis, hay que tener en cuenta que la escena urbana está enmarcada por el campo visual. En términos generales, el sistema visual humano está formado por dos ojos situados frontalmente, con un campo visual que cubre la mayoría de lo que se encuentra delante de él. La zona con mayor sensibilidad visual está localizada alrededor del punto de enfoque, y a partir de ahí se difumina. En la periferia del campo sólo es posible detectar movimientos, así como otros estímulos aislados, por ejemplo luces intermitentes. En la descripción gráfica del campo visual horizontal y vertical (Panero and Zelnik 2007) se presupone un observador estático; sin embargo, cuando éste se mueve, el campo visual horizontal pierde su sentido porque hay un cambio continuo de posición en ese plano, de manera que las escenas quedan definidas por los límites superior e inferior. En esta situación, el campo visual se convierte en una franja horizontal con la línea de visión aproximadamente en el medio, acompañada del resto de zonas con diferente sensibilidad en función del ángulo que forman con dicha línea (Fig. 2). La franja central corresponde a la zona de discriminación cromática y se considera la más importante en términos de visión porque es donde el ojo tiene mayor sensibilidad. Pero cuando el observador se desplaza por un entorno urbano, ¿qué elementos están presentes en esta franja, y en qué medida?

Esto nos lleva de nuevo a la definición de la escena visual. En un intento de simplificar sus partes, se ha considerado que el entorno construido se puede reducir a tres categorías, que corresponden a superficies en diferente posición, y por lo tanto, diferente ángulo de incidencia solar. La primera categoría la forman las superficies horizontales localizadas en la parte inferior de la escena visual, que normalmente corresponde al pavimento. La segunda categoría incluye las superficies verticales como las fachadas, situadas en la parte central. La tercera categoría es el cielo y las superficies horizontales vistas por su cara inferior, situadas en la parte superior de la escena visual. Dichas zonas se han denominado 1, 2 y 3 desde abajo hacia arriba (Fig. 3). Su proporción en la escena visual depende de las características del entorno (geometría) y la distancia de visión (posición del observador).

Fig. 2 Campo visual de un observador en movimiento



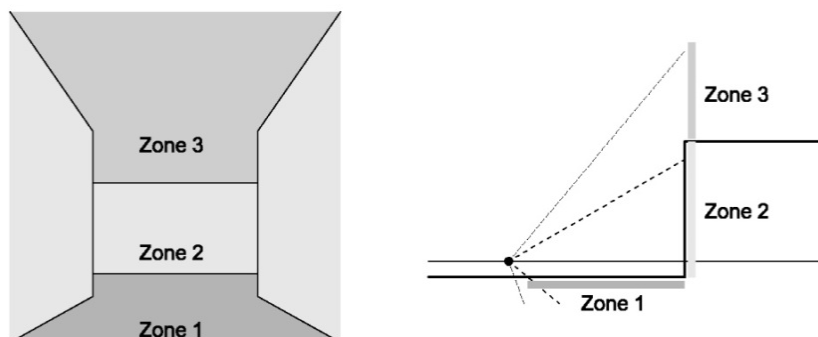


Fig. 3 Descripción gráfica de las zonas de la escena visual

En el caso de estudio, se dedujo la proporción que ocupa cada zona dentro de la escena visual a partir de la altura del edificio y diferentes distancias de visión combinadas con el campo visual de un observador en movimiento. De este modo, se definieron dos escenas a 5 y a 10 metros de distancia contados desde la entrada (Fig. 4). Aparte de su proporción en la escena hay que tener en cuenta la luminosidad de cada zona, relacionada con la luz incidente, la orientación de la superficie, su posición en la escena visual y otras características arquitectónicas y morfológicas como los materiales de acabado.

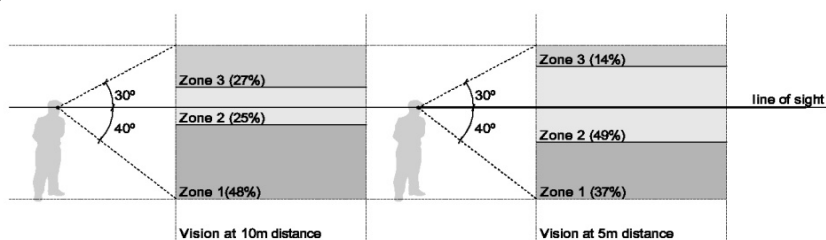


Fig. 4 Zonas de la escena visual en el caso de estudio (a 10 m y 5 m de distancia)

3.2 Análisis lumínico

Una vez definida la geometría del entorno el siguiente paso consiste en obtener el rango de valores de luminancia para cada zona y para la escena completa. Con este objetivo, se diseñó una metodología que permitiera extraer y analizar datos provenientes de entornos reales. Las fuentes de información son fotografías tomadas en el momento de máxima radiación (cercano a mediodía) y mediciones realizadas en el mismo momento del día.

Para empezar, se tomaron varias fotografías de la escena visual con una cámara digital. La serie de fotografías incluye el exterior del edificio desde cerca del punto de entrada. Es importante que la posición de la cámara reproduzca la de un ob-

servador de pie frente al edificio y que los parámetros de la cámara estén ajustados a las condiciones lumínicas reales. Además de éstas, se tomaron otras fotografías desde el mismo punto de vista pero con diferentes valores de exposición. El objetivo de estas fotografías era procesarlas como imágenes High Dynamic Range (HDR) y obtener el mapa de luminancias, utilizando un programa específico (<http://www.jaloxa.eu/webhdr/index.shtml>). Para llevar a cabo este procedimiento es imprescindible tomar las fotografías con los parámetros dados en las instrucciones del programa. En ambos casos se utilizó una cámara digital Canon EOS 350D (resolución 3456 x 2304 píxeles) y las fotografías incluyeron zonas iluminadas y en sombra reproduciendo la visión de un observador. Aparte de la toma de imágenes, se midió la luminancia en puntos al sol y a la sombra en cada zona de la escena (pavimento, fachada y cielo) elegidos in situ, con un luminancímetro Konika Minolta LS-110. La información se gestionó mediante los tres procedimientos explicados a continuación, diferentes según la naturaleza de la fuente.

El primer procedimiento utilizado fue un análisis estándar de imágenes para obtener datos de luminancia a partir de fotografías, llevado a cabo mediante un software desarrollado por los autores. Este software extrae datos de luz de los canales RGB presentes en los píxeles de la imagen, que son convertidos en valores de luminancia a través de un valor de referencia tomado durante las mediciones. En cada foto se identificaron las Zonas 1 – 3 en la fotografía, de manera que se pudiera procesar la imagen en su totalidad y para cada una de las zonas definidas. El interés viene dado por los valores de cada zona, ya que permiten caracterizar pavimentos, fachadas y cielo en un entorno urbano mediterráneo. Los resultados obtenidos con este software son luminancia media, luminancia máxima y mínima y desviación estándar. La Fig. 5 muestra los valores obtenidos en el caso de estudio.



Fig. 5 Análisis estándar de imágenes

El segundo procedimiento empleado consistió en análisis de imágenes procesadas en HDR para obtener mapas de luminancia. Con este objetivo, se tomaron series de tres fotografías con diferente exposición y fueron procesadas mediante un programa disponible on line (<http://www.jaloxa.eu/webhdr/index.shtml>). El resultado muestra la distribución de luminancias en la imagen. El valor específico de

cada punto con sus coordenadas se puede consultar en el programa mediante un mapa dinámico de luminancias. La Fig. 6 muestra el resultado para la misma fotografía analizada con el procedimiento de análisis estándar.

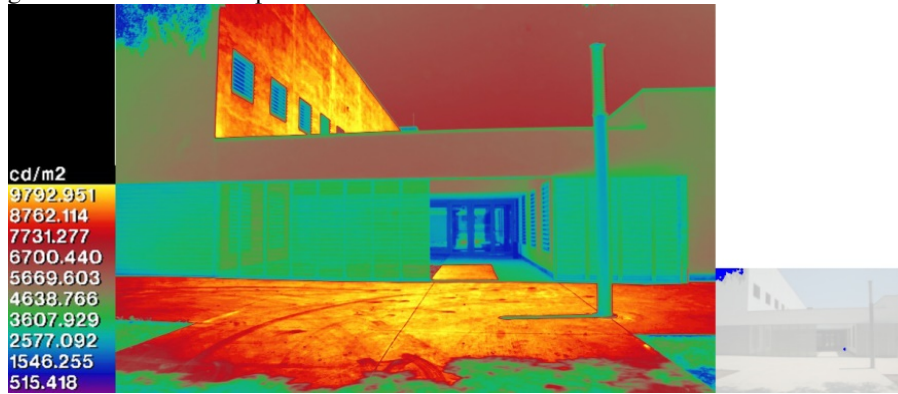


Fig. 6 mapa de luminancias HDR y 'heat map' indicando los píxeles cuya información fotométrica no es fiable (en azul)

En el tercer procedimiento, se tomaron mediciones en diferentes partes de las fachadas, pavimento y bóveda celeste, que corresponden con las Zonas 1 – 3 definidas en el proceso de determinación de la escena visual. Las mediciones fueron tomadas en superficies al sol y a la sombra, y se muestran superpuestas a la misma imagen utilizada en los otros dos procedimientos (Fig. 7). Los valores de los puntos medidos pueden ser comparados con los valores obtenidos con otros medios; sin embargo, al tratarse de puntos elegidos in situ, no pueden ser considerados valores extremos de luminancia.

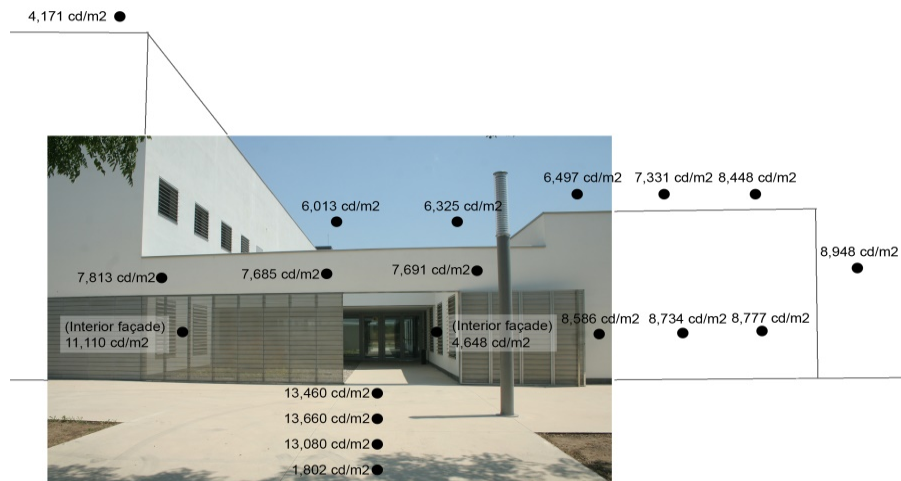


Fig. 7 Mediciones de luminancia tomadas in situ

4 Resultados y discusión

El análisis de la escena visual en el caso de estudio muestra que el 37-48 % de la escena está ocupada por el pavimento, el 25-49 % por la fachada, y el 14-27 % por el cielo (Fig. 4). La fachada se convierte en la parte más importante de la escena a medida que nos acercamos al edificio, pero el pavimento también juega un papel destacado, ya que cubre un gran porcentaje de la escena visual antes y durante la entrada. En proporción, la visión del cielo es más limitada. El peso de cada zona en base a su luminancia se deduce comparando los resultados obtenidos mediante los tres procedimientos expuestos (Tabla 1). Respecto a la luminancia media extraída del análisis estándar de imágenes, la tabla muestra que el pavimento (Zona 1) es la superficie más clara comparada con las demás. De acuerdo con dicho análisis, su valor medio de luminancia es de 6,047 cd/m^2 , debido a la ausencia de sombras importantes y al material del pavimento, hormigón de color claro. El valor medio mínimo corresponde a la Zona 2, la fachada. Aunque el acabado es un blanco muy brillante, existe un porche en sombra en la zona de entrada que reduce el valor medio en esta parte de la imagen. Los resultados también muestran que el cielo tiene una luminancia ligeramente más baja que el pavimento (Fig. 8).

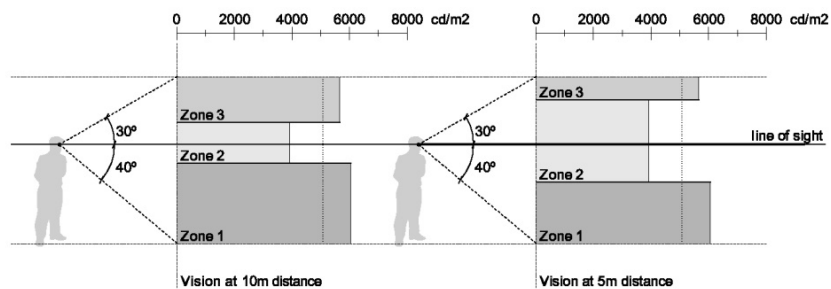


Fig. 8 Zonas de la escena visual en el caso de estudio con sus valores medios de luminancia

En cuanto al rango de luminancias, las mediciones realizadas en los puntos indicados en la Fig. 7 muestran que los valores más altos y más bajos se midieron en el pavimento ($13,660 \text{ cd/m}^2$ al sol y $1,802 \text{ cd/m}^2$ a la sombra), en la zona inferior de la escena (Zona 1). Los valores medidos en el cielo, justo encima del edificio, rondaban los $6,000 \text{ cd/m}^2$ e iban en aumento a medida que se acercaban a la posición del sol. La Zona 2 dio valores de fachadas al sol alrededor de $11,000 \text{ cd/m}^2$, y $4,600 \text{ cd/m}^2$ a la sombra, estos últimos detrás del muro principal, en el patio de entrada. En la fachada exterior los valores dieron alrededor de $8,700 \text{ cd/m}^2$. El análisis estándar de las imágenes no coincide del todo con los valores de luminancia medidos. Si nos fijamos en el rango de valores de la imagen, vemos que los más extremos se hallan en la Zona 3; puede ser debido a la presencia simultánea de una parte de fachada directamente iluminada por el sol y pequeñas zonas oscuras como las ventanas y la vegetación. Además, dicho análisis muestra que los valores más altos no se hallan en la Zona 1, como cabría esperar por las mediciones. En

términos generales, los valores obtenidos en cada zona con este procedimiento son más parecidos entre ellos que en las mediciones porque todos los píxeles de la misma franja horizontal son considerados en el análisis. Por otro lado, el mapa de luminancia muestra de una manera muy intuitiva la distribución de luminosidad en la escena, donde el pavimento es de manera muy evidente la zona donde hay más superficie con valores altos, y que la Zona 2 es, a grandes rasgos, la más oscura.

Tabla 1 Datos de luminancia obtenidos mediante los procedimientos descritos

	Procedimiento	L media (cd/m²)	L rango (cd/m²)	Desviación estándar (cd/m²)
Zona 3	An. Est. Imág.	5,657	8,411 - 132	1,343
	Imagen HDR		10,300 – 1,100	
	Mediciones*		8,998 – 4,171*	
Zona 2	An. Est. Imág.	3,926	7,703 – 298	1,357
	Imagen HDR		5,600 – 1,100	
	Mediciones*		8,777 – 4,648*	
Zona 1	An. Est. Imág.	6,047	7,692 – 408	1,318
	Imagen HDR		10,400 – 3,600	
	Mediciones*		13,660 – 1,802*	
Total imagen	An. Est. Imág.	5,078	8,411 – 132	1,645
	Imagen HDR		9,792 – 515	
	Mediciones*		13,660 – 1,802*	

*las mediciones corresponden a las superficies principales, al sol (primer valor) y a la sombra (segundo valor)

Como discusión al método y los tres procedimientos empleados, podemos decir que:

- El análisis estándar de imágenes permite obtener valores muy precisos sobre una fotografía, pero esta precisión y su correspondencia con un entorno real están supeditados al encuadre de la fotografía y el tipo de entorno. No obstante, es una herramienta útil para conocer el valor medio y la homogeneidad de una zona dentro de la escena.
- Respecto a los mapas de luminancia obtenidos a partir de imágenes HDR, su representación con superficies en falso color permite una identificación más intuitiva respecto a los valores de luminancia que una fotografía normal. Su uso es útil como tentativa para estimar la distribución de luz en una escena.
- Por último, las mediciones realizadas in situ permiten comprobar la validez de los valores de luminancia obtenidos a partir de los mapas, y a su vez sirven de referencia para traducir los valores de luz del análisis estándar en valores en cd/m^2 . Su fiabilidad está sujeta a la precisión del aparato de medición, pero los valores obtenidos son una referencia muy valiosa para obtener una visión global de la luminosidad de las diferentes superficies de la escena visual.

5 Conclusión

Determinar la luminancia de una escena urbana Mediterránea es una tarea compleja que llevó al análisis de la escena visual así como a la obtención de una serie de valores de luminancia mediante distintos procedimientos. La complejidad de la escena y sus elementos implica que los resultados deben ser tomados como una aproximación a los valores de luminancia presentes en el entorno mediterráneo, y utilizables sólo como referencia. En el caso de estudio, el pavimento fue la zona con los valores más altos de luminancia, aunque el cielo también resultó ser una zona luminosa pero con un aspecto es mucho más uniforme. La zona donde están las superficies verticales muestra el valor medio más bajo y la mayor desviación estándar. En el caso de estudio, si las superficies del interior ofrecieran unos valores de luminancia por debajo de 100 cd/m^2 , normales para un interior, el contraste con el exterior sería alrededor de 100:1 (dado que existen valores por encima de $10,000 \text{ cd/m}^2$). De hecho, los valores interiores en el entorno mediterráneo muestran luminancias de esta magnitud (Lopez-Besora et al. 2016), lo que confirma que existe contraste entre el interior y el exterior. El uso de zonas en sombra y distintos materiales podría contribuir a reducir este contraste disminuyendo la luminancia de la escena exterior, justo antes de la entrada, y mejorar la adaptación visual entre el interior y el exterior del edificio. De esta forma no sería necesario hacer un uso desproporcionado de energía destinada a iluminación artificial con

tal de obtener una mejor visión mediante un aumento de intensidad lumínica. Además, si la iluminación del espacio de transición se centra en aumentar la luminancia del pavimento interior, ya que es la zona exterior donde se da el valor más alto (en comparación con el cielo y las fachadas), es posible mejorar considerablemente la calidad visual de sus usuarios sin aumentar la demanda energética. La sostenibilidad y eficiencia de un sistema de iluminación en este caso pasa por el ajuste del nivel de iluminación en el espacio, incluso su supresión, durante las horas del día en las cuales la luz en el exterior es más que suficiente.

En conclusión, en el entorno mediterráneo están presentes simultáneamente valores de luminancia muy altos y bajos que configuran una escena visual no uniforme, sino contrastada. Cabe dedicar especial atención a los pavimentos, ya que no son superficies secundarias sino muy importantes dentro de la escena visual.

Referencias

- Baker NV, Fanchiotti A, Steemers KB (1993) *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*. James & James, London
- ISO, 15469:2004 (E)/CIES011/E: 2003. Spatial distribution of daylight – CIE Standard General Sky. ISO, Geneva, 2004
- Lasagno CM, Pattini AE, Rodríguez RG, Colombo EM (2011) Developing a modelling factor index for transition spaces: A case study approach. *Architectural Science Review* 24(3):215–224
- Ruggiero F, Serra R, Dimundo A (2009) Re-interpretation of traditional architecture for visual comfort. *Building and Environment* 44:1886–1891
- Araji MT, Boubekri M, Chalfoun NV (2007) An examination of visual comfort in transitional spaces. *Architectural Science Review* 50(4):349–356
- Lopez-Besora J (2015) *La llum Mediterrània i els espais d'accés a l'arquitectura*. Doctoral thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. <http://www.tdx.cat/handle/10803/334410>
- Hernández-Andrés J, Romero J, Nieves JL, Lee Jr RL (2001) Color and spectral analysis of daylight in southern Europe. *Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science, and Vision* 18(6):1325–1335
- Panero J, Zelnik M (2007) *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Gustavo Gili, Barcelona
- Web HDR <http://www.jaloxa.eu/webhdr/index.shtml>
- Lopez-Besora J, Serra-Coch G, Coch H, Isalgue A (2016) Daylight management in Mediterranean cities: when shortage is not the issue. *Energies* 2016, 9(9), 753; doi: 10.3390/en9090753

Agradecimientos

Trabajo financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad bajo el proyecto BIA2013-45597-R.