

INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN EL DISEÑO URBANO COMO HERRAMIENTA HACIA UNA CIUDAD MÁS SOSTENIBLE

^{1*}Fernández Expósito, Manuel; ¹Moreno Rangel, David; ¹Esquivias Fernández, Paula M.

¹Grupo “Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía”. Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC). Universidad de Sevilla.

Avenida de la Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla, España

e-mail: *manuelfernandez@estudioheliopausa.com

RESUMEN

Las cuestiones relativas al soleamiento e iluminación natural y su afeción al diseño de los edificios ha sido objeto de pocas investigaciones y contadas aplicaciones prácticas, entre otras cosas, por la ausencia de requerimientos específicos mínimos a nivel nacional o local expresados mediante los correspondientes documentos normativos. Si pasamos a la escala urbana la sensibilización y el número de trabajos que abordan esta temática es casi inexistente.

De los principios del urbanismo bioclimático, algunos autores como José Fariña Tojo o José Manuel Naredo, establecen los criterios de planificación de los cuales pueden extraerse aspectos básicos que afectan directamente al diseño urbano. En primer lugar, es imprescindible realizar un trazado viario estructurante que responda a criterios de soleamiento buscando orientaciones óptimas para el máximo aprovechamiento de iluminación natural tanto para la propia calle como para los edificios que se anexan a ella. Además, este viario tiene que incorporar una vegetación adecuada a las necesidades de humedad y evaporación ambiental (tratando de minimizar las cargas térmicas), consiguiendo, en conjunto, una morfología urbana con fachadas bien orientadas y una adecuada proporción de patios interiores.

El artículo estudiará cómo los parámetros urbanos más importantes influyen sobre las condiciones interiores de iluminación natural, valorando dicha influencia desde el punto de vista de la sostenibilidad. Se considerarán los parámetros del urbanismo tradicional como la altura de la edificación, la anchura de los viales o la orientación, así como la vegetación o la materialidad del pavimento o de las fachadas.

Como caso de estudio, se selecciona un ciudad con clima cálido y latitud entre 30-40°, como puede ser Sevilla, y se utilizará como caso de estudio una sección característica de ensanche.

Como conclusión del artículo, se llevará a cabo una valoración del grado de influencia que cada parámetro estudiado tiene para mejorar las condiciones de iluminación natural en el interior de la edificación que lo conforma, logrando determinar que relación entre ancho de vial y altura de edificación es la más óptima para conseguir el mayor aprovechamiento de iluminación natural y por tanto mayor ahorro energético.

Keywords: Diseño Urbano, Parámetros Urbanos, Iluminación Natural, Soleamiento

1.- Introducción

Desde hace años, el Grupo de Investigación TEP 130 "Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación y Energía", se encuentra trabajando en varias líneas de investigación. Particularmente David Moreno, Paula M. Esquivias y Manuel Fernández vienen desarrollando su labor investigadora, entre otros, dentro del campo de la iluminación natural en la arquitectura y urbanismo.

El primero de ellos, realizó su tesis bajo el nombre "Hacia una arquitectura para la vida: cuatro acciones/reacciones que permiten esbozar las nuevas condiciones de lo arquitectónico ante el problema de la sostenibilidad". Los otros dos autores, se encuentran realizando su tesis doctoral sobre iluminación natural, la primera aportando una visión integradora de la componente lumínica y térmica de la radiación solar en el interior de los edificios y el segundo más focalizado en el ámbito urbano. Por ello, este artículo corresponde a la investigación desarrollada durante la tesis doctoral que analiza la influencia del diseño urbano sobre las condiciones de iluminación natural en la edificación.

El equipo cuenta con cinco másteres oficiales cursados relacionados directamente con las áreas temáticas, docencia tanto en el departamento de "Historia, Teoría y Composición arquitectónicas" como en el de "Construcciones Arquitectónicas I", de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla y con gran participación en múltiples proyectos de investigación.

2.- Objetivos

Puede decirse que la ciudades históricas, objeto de este artículo, tienen una planificación ya sea de trazado orgánico o geométrico, ambos ordenes están presentes desde las primeras ciudades y se han fusionado e incluso superpuesto a medida que han ido desarrollándose.

El orden orgánico hace referencia a su relación con la naturaleza puesto que en él se aprecian simetrías axiales además de la forma circular u ovalada como elementos de composición. En cambio, el orden geométrico, se rige por una geometría rectilínea que conforma vías jerarquizadas con manzanas y parcelas de forma cuadrada, rectangular o semicircular.

Derivada de esta ordenación, la orientación de las fachadas es muy variable y está condicionada por las calles que, a su vez, se adaptan al relieve. Las edificaciones tiene un grado elevado de obstrucción solar debido a la estrechez y altura de los edificios. En la ordenación geométrica, a diferencia del otro orden, el trazado viario se encuentra jerarquizado con unos ejes principales de mayor sección y otras calles secundarias de menor importancia. Aparecen importantes espacios públicos también jerarquizados desde un espacio central. Con asiduidad la retícula se orienta según los cuatro ejes cardinales, Norte, Sur, Este y Oeste, dando lugar a edificios con el 25% de las fachadas en cada orientación.

Junto a los órdenes de la antigüedad, como parte del proceso histórico es de conocimiento general que hubo varias tendencias o movimientos entre las cuales pueden destacarse propuestas de la Ciudad Jardín o la Ciudad del Movimiento Moderno. En la primera, las calles están orientadas siguiendo generalmente las curvas de nivel predominando el trazado noroeste-sureste, que abre las fachadas a unas buenas condiciones de soleamiento, favorecidas a su vez, por la amplia distancia entre ellas. En el segundo caso, en los diseños es notable la clara distinción entre el trazado viario y la trama de los edificios, dispuestos en forma de peine de manera perpendicular a las calles. Era estudiada la colocación de los bloques a una distancia entre sí calculada con relación a su altura y orientados según los ejes heliotérmicos, preferentemente en dirección norte-sur.

A pesar de la preocupación que mostraban estas propuestas de ciudades, a finales del siglo XVIII y durante el XIX el panorama urbano estuvo marcado por la falta de espacio y de higiene con viviendas infraluminadas. Esto dio lugar a que en las ciudades europeas [1] comenzaran a surgir ordenanzas que exigían que desde las ventanas de planta baja, de cualquier edificio residencial, se pudiera ver el cielo. Además, se fijaban parámetros como la distancia entre edificios o el tanto por ciento de superficie que debía ser iluminado por la luz natural. Actualmente, las normativas exigen que toda pieza habitable sea exterior debiendo disponer de ventilación e iluminación natural. Se establecen unas superficies mínimas de huecos en relación a la superficie útil del espacio.

La ausencia de una normativa específica de obligado cumplimiento del rango del CTE, deja el diseño urbano en manos de ordenanzas en donde la sensibilización por la escala urbana es mínima [2].

A pesar de ello, sí es posible encontrar esa preocupación en las nuevas corrientes del urbanismo, en concreto, dentro de los principios del urbanismo bioclimático [3] [4] existen una serie de directrices que afectan directamente al diseño urbano. A continuación, se enumeran las más relevantes que se encuentran claramente relacionadas con el objetivo de este artículo:

- Se debe realizar un trazado viario estructurante que responda a criterios de soleamiento y viento.
- Las calles deben estar adaptadas a la topografía, buscando orientaciones que favorezcan el soleamiento y eviten el encauzamiento de vientos desfavorables.
- La vegetación tiene que ser adecuada a las necesidades de humedad y evaporación ambiental.
- La morfología urbana debe generar manzanas con fachadas bien orientadas y una adecuada proporción de patios.

Un trazado viario bien orientado bajo criterios de soleamiento derivará directamente en una buena orientación de las fachadas de los edificios y, consecuentemente, una buena iluminación en el interior de la edificación. Para la consecución de esta primera premisa será necesario tener en cuenta la altura y distancia de los edificios colindantes y enfrentados ya que representan elementos de obstrucción y reflexión del potencial de luz natural que puede entrar en un espacio [5]. Especialmente en invierno, cuando se tienen menos horas de soleamiento, es necesario conocer cuál debería ser la separación entre dos o más edificios que garantice el soleamiento necesario para estos meses, los más desfavorables, teniendo en cuenta la posición del sol en cada momento. Sin embargo, durante el verano, la presencia de los elementos del entorno urbano, puede ayudar a mitigar el sobrecalentamiento de los espacios si la componente reflejada de la luz natural proporciona los niveles de iluminación necesario, pudiendo reducir, de esta forma, la entrada de radiación solar directa.

Por tanto, desde el punto de vista del urbanismo bioclimático, la investigación tiene como objetivo analizar la influencia de los parámetros de diseño urbano más importantes que influyen sobre las condiciones de soleamiento e iluminación natural en el interior de la edificación.

3.- Metodología y caso de estudio

3.1.- Metodología

Como punto de partida para conseguir un correcto diseño de iluminación tanto en el ámbito urbano como en el interior de un edificio deben ser tenidos en cuenta diversos aspectos [6]. Es muy relevante la influencia del lugar, la orientación o la forma y dimensiones del edificio, para aprovechar las ventajas de la aportación de

luz natural e impedir sus inconvenientes inherentes a la presencia del sol y de su trayectoria. La luz natural debe tenerse en cuenta desde la etapa de distribución del lugar de ubicación, los obstáculos que rodean a un edificio pueden tener un impacto tanto en la cantidad de luz que alcanza los huecos como en la distribución de la luz dentro de un espacio.

Para analizar la influencia que tienen los parámetros urbanos en las condiciones de iluminación del interior de la edificación, se estudia la luz reflejada que se produce en todas las superficies exteriores, siendo ésta una componente del Factor de Iluminación Natural.

El Factor de Iluminación Natural (Daylight Factor –DF) se define como la relación entre el nivel de iluminación que se obtiene sobre una superficie horizontal interior respecto a la que se obtendría en dicha superficie si estuviera ubicada en el exterior sin ningún tipo de obstrucción. Para el cálculo del Factor de Iluminación Natural sólo se considera la componente difusa de la luz natural, por lo que no se considera la presencia del sol, siendo el modelo de cielo completamente nublado (CIE Overcast Sky Model) aprobado por el Comité Internacional de Iluminación (Commission Internationale de l'Eclairage –CIE) la distribución de luminancias de la bóveda celeste habitualmente utilizada para su cálculo.

El factor de luz natural (fig.1) en cualquier punto de un plano de trabajo se puede expresar como la suma de tres componentes: la luz que procede directamente del cielo (sky component -SC), la luz reflejada en las superficies exteriores (external reflected component -ERC) y la luz reflejada en las superficies interiores (internal reflected component -IRC).

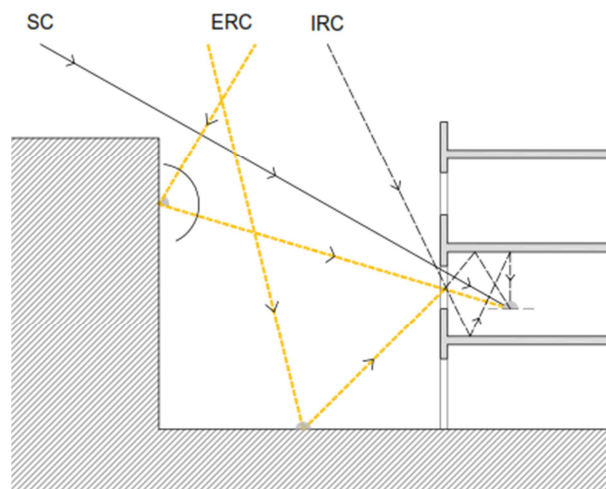


Fig. 1 "Factor de luz natural". Fuente: el autor

Su formulación es la siguiente:

$$DF (\%) = SC (\%) + ERC (\%) + IRC (\%) \quad (1)$$

Si las necesidades lumínicas requieren una apariencia de iluminación con luz natural predominantemente, entonces DF debe ser igual o superior al 5% [7] en cuyo caso no sería necesario el uso de alumbrado artificial:

- DF < 1%, poca iluminación
- DF < 3%, regular iluminación suficiente para actividades de poca precisión durante la mayor parte del día
- DF < 5%, buena iluminación suficiente para actividades precisas durante bastantes horas al día

- DF>5%, iluminación muy buena suficiente para actividades precisas durante muchas horas al día

El análisis de este estudio se realizará el cálculo mediante el Software Avanzado de Autodesk ECOTECT. Este programa realiza el cálculo del Factor de Iluminación Natural mediante el método Split-Flux desarrollado por el Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido. Este método calcula el Factor de Iluminación Natural de un punto como la suma de las componentes directa y reflejada, exterior e interior, de la luz natural. Cada componente se calcula de forma separada y luego se suman para obtener la iluminación global en el punto de cálculo.

Este método distribuye toda la luz incidente en una ventana en dos direcciones, donde el flujo luminoso hacia arriba y hacia debajo de la ventana se divide en dos componentes. Cada uno de estos componentes se refleja en base a la reflectancia media ponderada de las superficies sobre y bajo la ventana. Este tipo de cálculo funciona mejor en habitaciones donde la proporción entre el ancho, la profundidad y la altura es de 1:1:1, situación que apenas se encuentra en la realidad, por lo que los cálculos con este método normalmente dan lugar a resultados de importante imprecisión.

En la versión de este método implementado en Ecotect, se ejecuta un trazado de rayos en el que cada rayo representa aproximadamente el mismo ángulo sólido de cielo. Para considerar la iluminancia del cielo, clave para la determinación de los valores interiores, Ecotect requiere de un valor de Cielo de Diseño (Design Sky value) que se deriva de un análisis estadístico de los niveles de iluminancia exterior, representando el nivel de iluminancia horizontal que se supera el 85% del tiempo entre las 9 h. y las 17 h. a lo largo de todo el año. La componente interior reflejada se determina mediante una ecuación utilizando la media ponderada de la reflectancia de las superficies interiores, la superficie total de acristalamiento y un factor de corrección para las obstrucciones exteriores.

Este programa, entre otros, ha sido testeado por el grupo de investigación bajo el cual se inscribe este artículo (Grupo de investigación TEP 130: "Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía". Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción de la Universidad de Sevilla), contando con un importante aval en la fiabilidad de sus resultados.

3.2.- Caso de estudio

Como caso de análisis se establece la elección, no de una ciudad concreta, sino de una caracterización de parámetros comunes, en concreto, es estudiada una ciudad de clima templado y latitud entre 30 y 40°.

La morfología urbana que define las ciudades de estudio se identifica con distintas áreas homogéneas [8] [9] [10] y tipologías de viario, como pueden ser los centros históricos, las extensiones ortogonales, los ensanches o los polígonos de bloques aislados. Este estudio se centra en las características de los ensanches. Estas tramas, formadas en la segunda mitad del siglo XIX y en la primera de siglo XX, están compuestas por redes rectangulares de calles rectilíneas jerarquizadas que se cruzan ortogonalmente. La longitud de tramos y anchura de calles son uniformes y suelen variar entre 80 y 200m y entre 10 y 50m. La relación entre altura y anchura de sus secciones varía entre 0,7 y 1,7 (fig.2).

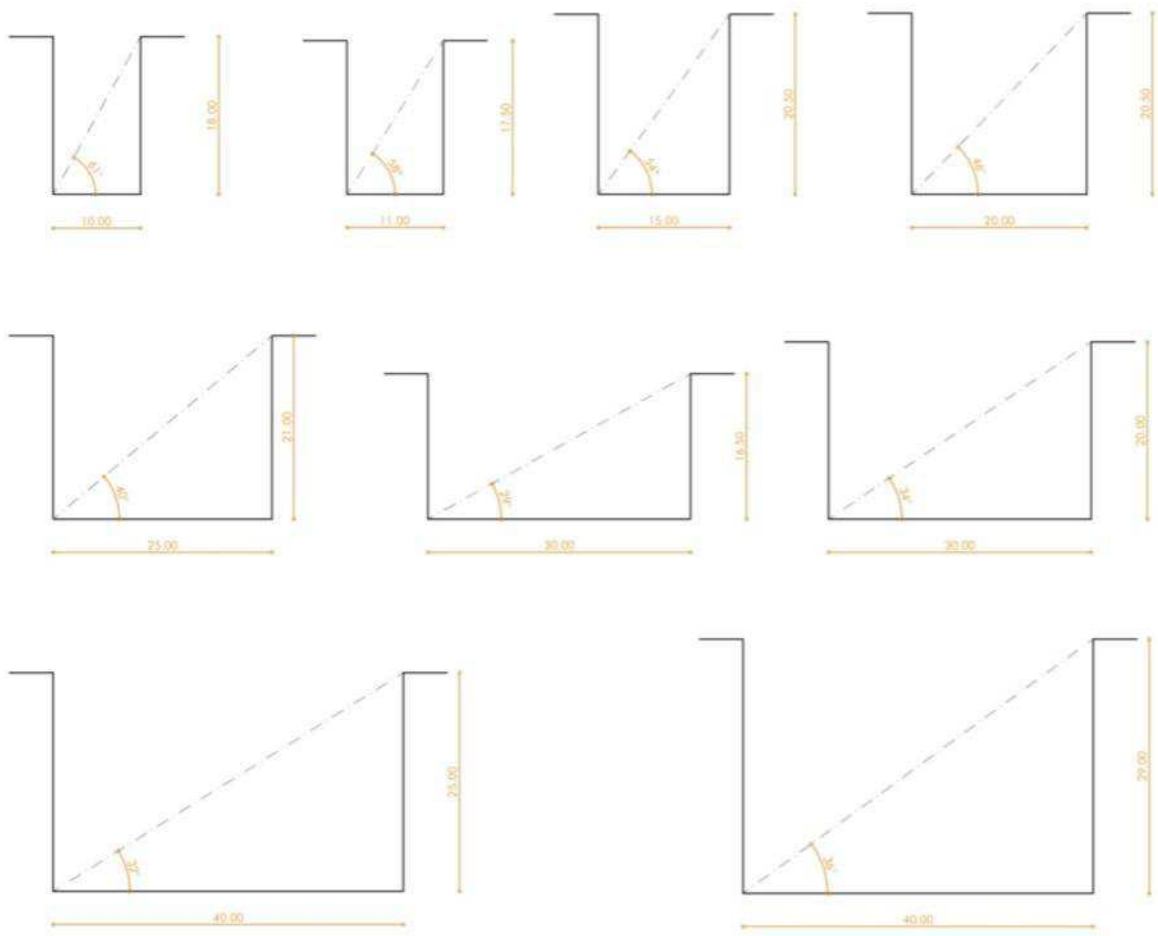


Fig. 2 "Ejemplos de secciones de viario de estudio". Fuente: el autor

Con poca adaptación climática, los espacios públicos se protegen de los rigores del clima en verano mediante árboles de sombra, puesto que la longitud y rectitud de las calles, unida a la importancia de su anchura y de la altura de los edificios que las delimitan, aúnan una orientación desafortunada que pueden dar lugar a encauzamiento y aceleración de vientos. La amplitud y regularidad de las redes de calles determinan asimismo la regularidad de las formas y el tamaño de manzanas, sensiblemente cuadradas y de una hectárea de superficie aproximadamente. Los edificios característicos de los ensanches urbanos son viviendas plurifamiliares entre medianeras de cuatro a diez plantas.

El espacio de análisis (fig.3) es una estancia de $20m^2$ (dimensiones $4x5x3m$) dedicada al descanso y desarrollo de actividades de trabajo o lectura. Se establece un plano de trabajo a $85cm$ desde suelo donde se analiza la influencia de la componente reflejada exterior a través de un hueco estándar de $1,5m \times 2,10m$ a ras de suelo con carpintería de aluminio y vidrio doble $4+6+4mm$ de baja emisividad.

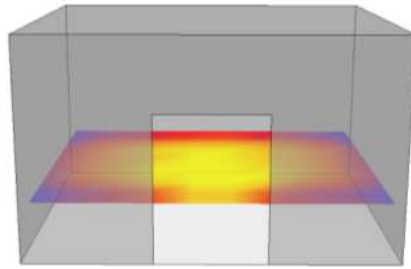


Fig. 3 "Ámbito de estudio de la edificación". Fuente: el autor

El ámbito urbano seleccionado, se corresponde con uno de los modelos representativos de este tipo de tramas (fig.4). La estancia queda dispuesta en la fachada principal de una vivienda situada en planta primera (cota +3,00m).

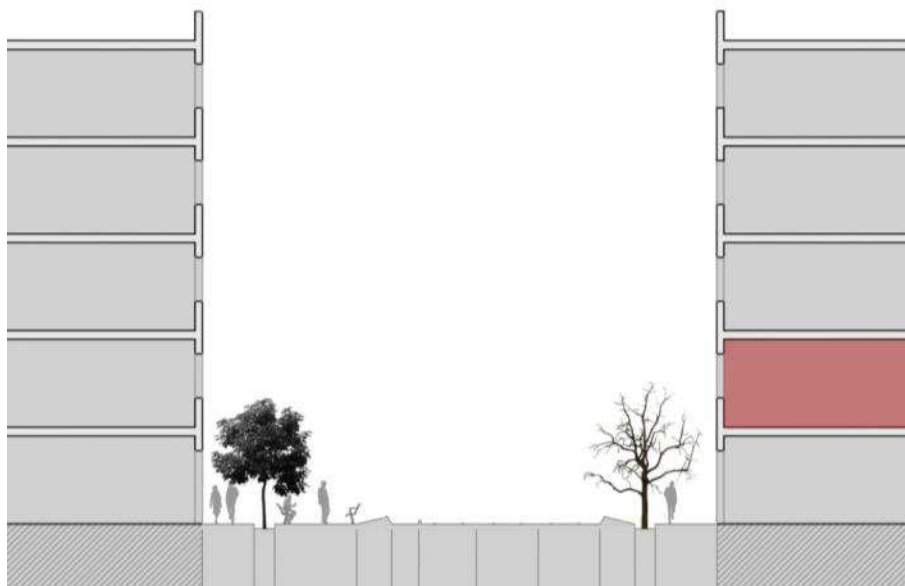


Fig. 4 "Ámbito urbano de estudio". Fuente: el autor

Para la realización de este estudio se plantea la siguiente estructura urbana como punto de partida, en función de los parámetros que afectan a la componente reflejada exterior (fig.5):

- Longitud de vial: se establece 200m como valor fijo para todas las simulaciones realizadas.
- Altura de la edificación y anchura de vial: se estudiarán tres hipótesis para un ancho de vial de 18,00m; 12,00m; 18,00m; 24,00m. Resultando relaciones de 0,65-1,00-1,30 respectivamente.
- Materiales [11]: la fachada frontal respecto al espacio de estudio estaría acabada en ladrillo visto y posee el 20% de superficie acristalada. Los huecos estarían resueltos mediante carpintería de aluminio y vidrio doble.
- Vegetación: se sitúan arboles cada 12,00m de distancia.

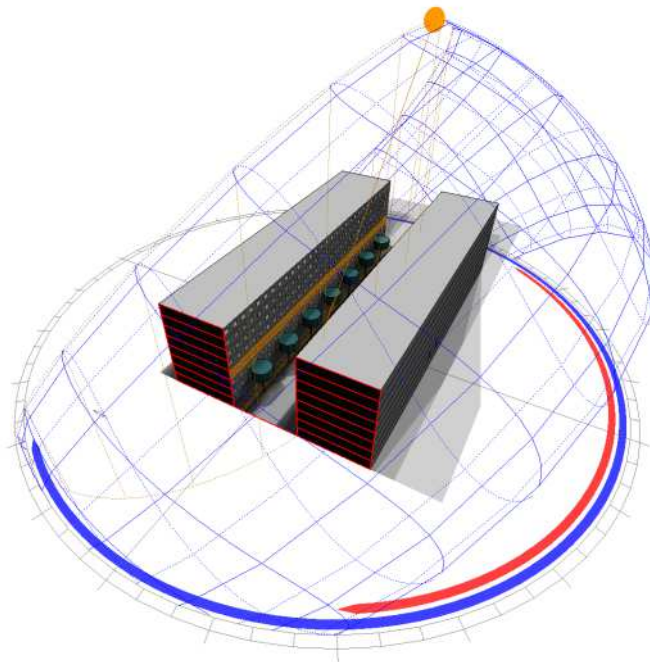


Fig. 5 "Modelo de cálculo". Fuente: el autor

4.- Resultados

A continuación se muestran los resultados del cálculo de de la componente reflejada exterior y nivel de luxes (Tabla 1 y 2) obtenidos con el estudio de la variación de la relación entre la anchura y la altura del espacio urbano con y sin presencia de vegetación.

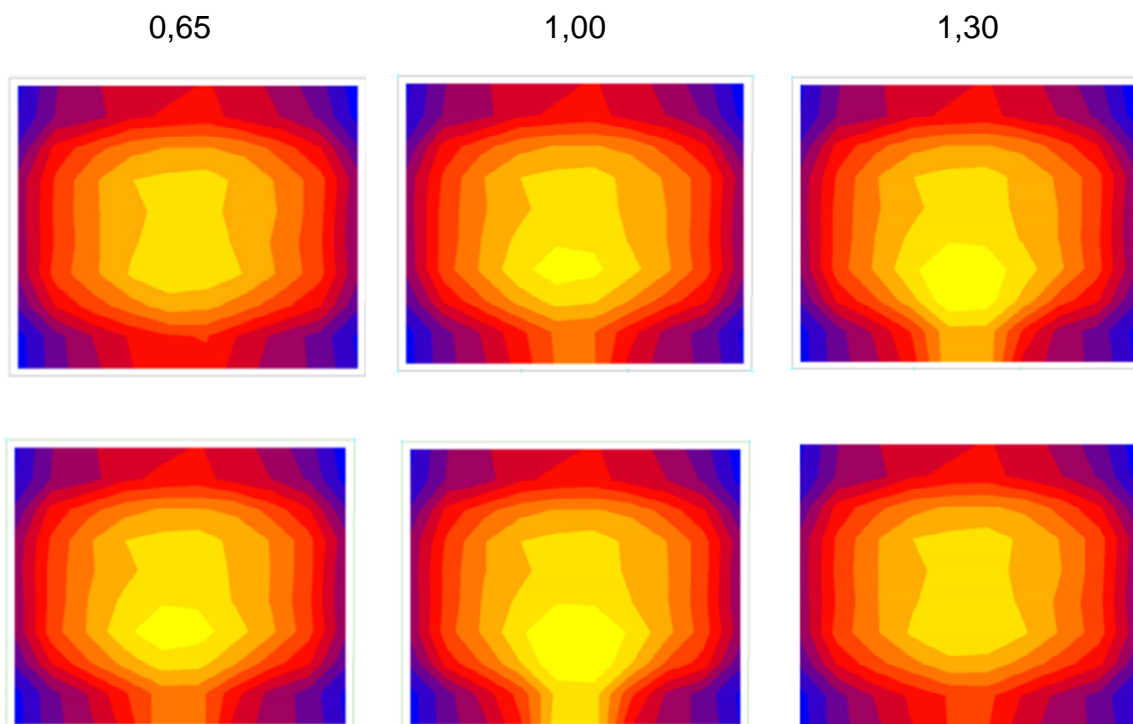


Tabla 1 "Diagramas de la componente reflejada exterior"

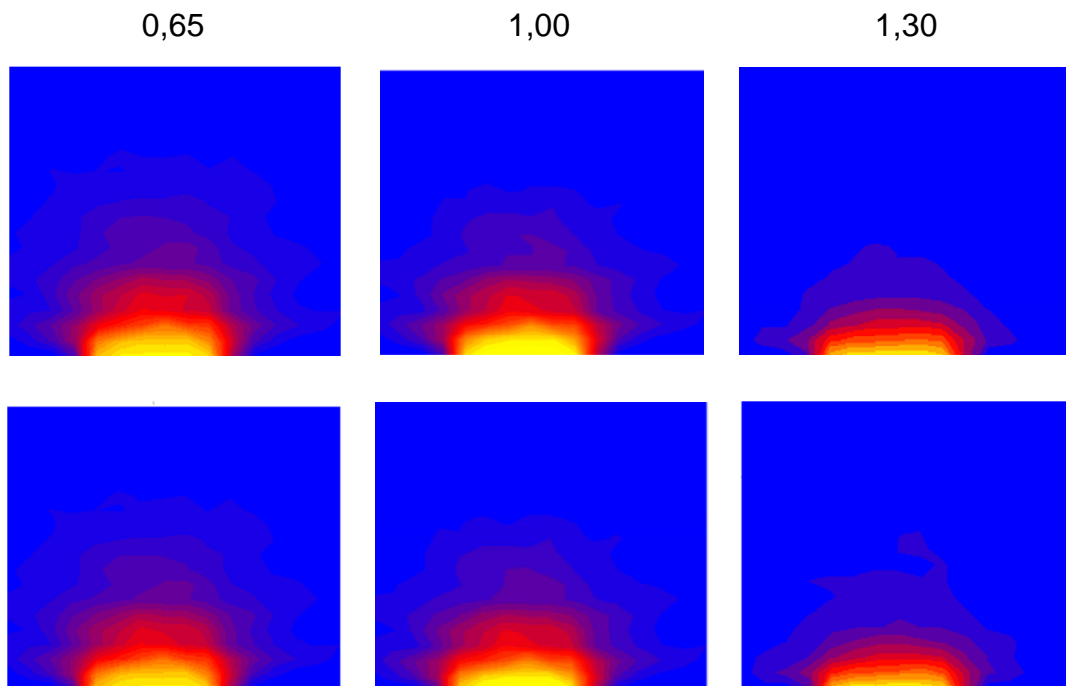


Tabla 2 "Diagramas de la iluminancia"

A continuación, se indica la tabla de los resultados obtenidos más relevantes con y sin presencia de vegetación de la componente reflejada exterior así como el nivel de luxes obtenido (Tabla 3 y 4):

Relación (h/a)	ERC _{min} (%)	ERC _{medio} (%)	ERC _{max} (%)	E _{min} (lux)	E _{medio} (lux)	E _{max} (lux)
0,65	2,37	4,21	7,40	112,62	263,63	1844,66
1,00	2,37	4,89	7,81	102,62	246,82	1807,73
1,30	2,37	5,42	7,90	93,41	177,49	1656,64

Tabla 3 "Resultados con la presencia de vegetación"

Relación (h/a)	ERC _{min} (%)	ERC _{medio} (%)	ERC _{max} (%)	E _{min} (lux)	E _{medio} (lux)	E _{max} (lux)
0,65	2,38	5,24	7,46	105,62	261,08	2224,33
1,00	2,38	5,74	7,88	105,56	244,33	2169,51
1,30	2,38	6,02	8,40	101,56	173,77	2126,29

Tabla 4 "Resultados sin la presencia de vegetación"

Para establecer una comparación entre los resultados, se realiza la siguiente gráfica (Tabla 5) en función de la altura de la edificación y el valor medio del porcentaje de

la componente exterior reflejada, de modo que sea apreciable la variación que esta sufre. La hipótesis 1 se corresponde al cálculo de la ERC con presencia de vegetación, mientras que la 2 se corresponde con la inexistencia de ésta.

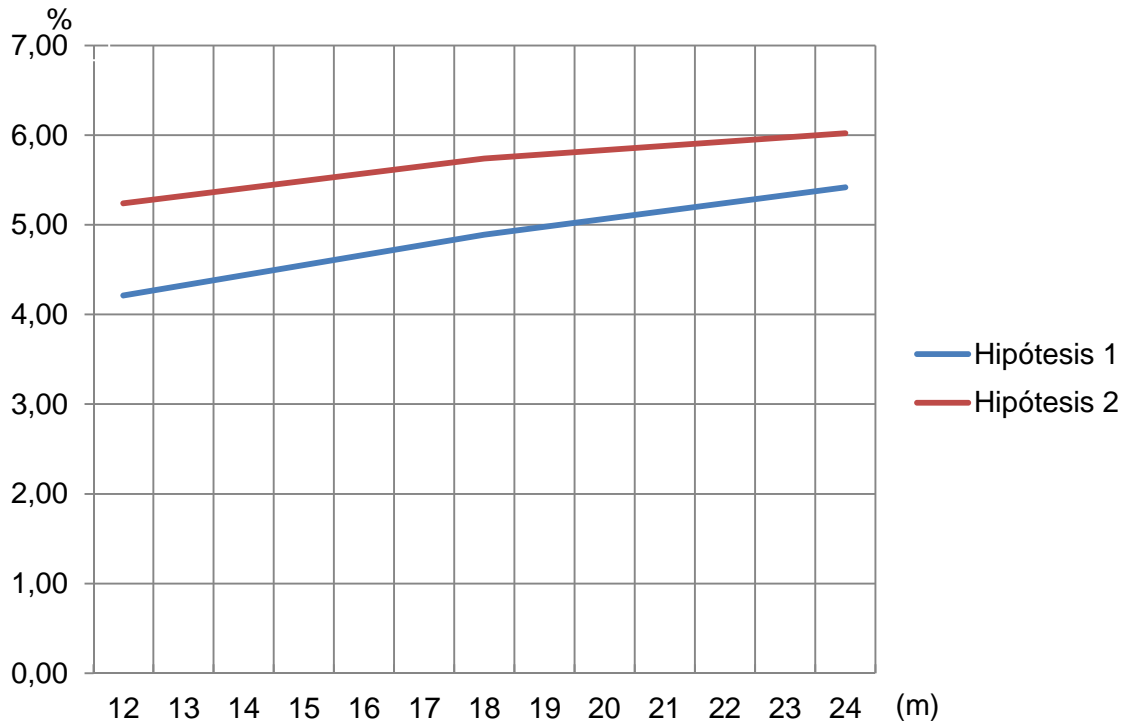


Tabla 5 "Comparación de hipótesis de cálculo"

5.- Conclusiones

Tras el análisis de los resultados, se obtienen varias conclusiones. En primer lugar, la componente exterior reflejada se ve claramente incrementada en relación a la altura de la edificación. Como puede verse en los valores y en la gráfica, al duplicar la altura de la edificación se aumenta en más de 1%, resultando una diferencia suficiente para contribuir a estar en rango al factor de luz natural entorno al 5%, lo que permite tener una buena iluminación suficiente para el desarrollo de cualquier tarea. Por el contrario, la excesiva altura perjudica al nivel de iluminación natural en el interior del espacio, obteniendo un valor medio de 177,49 luxes, no siendo suficiente para el desarrollo de determinados trabajos.

Por tanto, para este caso, la relación entre altura-anchura debería aproximarse a 1,00 puesto que el nivel de iluminancia es cercano a los 300 luxes y la componente reflejada exterior se aproximará al 5%, que junto con componente de cielo y reflejada interior sumarán un adecuado factor de luz natural.

En el caso de la presencia de vegetación, la grafica demuestra claramente como reduce bastante el porcentaje obtenido de la componente reflejada exterior. Esto puede deberse a que obstaculiza parte de superficie de fachada y pavimento que favorecen una mayor reflexión. Respecto a la iluminancia, apenas se ve alterada, puesto que aunque se trata de árboles de porte mediano, afectan en muy pequeño margen al tener una altura similar a la de planta primera donde se encuentra el espacio de estudio. Esto refuerza la idea de utilizar especies de árboles de hoja caduca, puesto que durante el invierno al perder su follaje permiten que se produzca la reflexión en la máxima superficie de fachadas y pavimento, lo cual favorece un mayor porcentaje de factor de luz natural complementado con la radiación solar más

débil que se produce durante estos meses. Durante verano, ocurre la situación contraria, la masa arbórea perjudicará, en parte, la componente exterior reflejada, pero al ser el período de mayor radiación, esto no impedirá seguir obteniendo un buen confort lumínico en el interior de la edificación.

Como conclusión final al estudio, puede determinarse que para el caso de trazado urbano que se ha tratado, la relación entre ancho de vial y altura de edificación debe ser lo más próxima a 1 para obtener un adecuado grado de iluminación interior. El uso de una vegetación adecuada, árbol de hoja caduca, puede ser muy favorable y servir como propio regulador lumínico, no solo pensado en su proyección en planta como hasta ahora, sino como elemento obstaculizador para evitar la sobreflexión.

Consecuentemente, puede observarse que los parámetros urbanos estudiados tienen un alto grado de influencia sobre las condiciones de iluminación natural en el interior de la edificación. Hasta ahora, la planificación urbana, solamente ha llegado a establecer relaciones entre altura y anchura para el diseño urbano de cualquier viario, pero queda demostrado que esto no es suficiente. En el caso estudiado, se hace necesario tener en cuenta otros muchos factores si se desea conseguir un adecuado diseño urbano y grado de confort lumínico. Parámetros como la vegetación o la materialidad de fachada y pavimento deben ser ineludibles desde los primeros planteamientos del diseño urbano.

La íntima relación que se produce entre el espacio urbano y la edificación, entre exterior e interior, debe tratarse con una especial sensibilidad, analizando exhaustivamente cada una de las componentes que mejoran o perjudican la relación entre ambos. Una perfecta armonía entre ellos deriva tanto en un diseño urbano de gran calidad ambiental como en un espacio interior con el adecuado grado de iluminación natural, lo que conlleva a un mayor aprovechamiento de la misma y por tanto mayor ahorro energético al obtener gran autonomía lumínica de forma natural. Además, una buena iluminación que asegure eficiencia visual, confort sensorial y un medio ambiente apropiado a las personas usuarias del espacio, hace que sean capaces de realizar su tarea a mayor velocidad y con buena precisión, consecuentemente, les conducirá a una mayor productividad en el desarrollo de sus tareas.

REFERENCIAS

- [1] Yáñez Parareda, Guillermo. Arquitectura solar e iluminación natural: conceptos, métodos y ejemplos. Madrid: Munila-Lería; 2008.
- [2] Higuera García, Esther. Urbanismo y medio ambiente. Madrid: Instituto Juan de Herrera; 2001.
- [3] Olgyay, Víctor. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Gustavo Gili; 2004
- [4] Cárdenas Jirón, Luz. Caracterización de patrones bioclimáticos en tejidos urbanos Residenciales. Cuaderno de Investigación Urbanística nº 82; 2012
- [5] Michele Morganti, Helena Coch Roura, Carlo Cecere. The effect of urban obstructions in mediterranean climates: built form typology, density and energy. ACE: Architecture, City and Environment ; 2012, Año 7, núm. 19 Junio. P. 13-26
- [5] Fariña Tojo, Jose. Manual de Diseño Bioclimático Urbano, manual de recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas; 2013.
- [6] Fariña Tojo, José. Clima, territorio y urbanismo. Madrid Escuela Técnica Superior de Arquitectura; 1990.
- [7] Comité Español de iluminación. Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios / Comité Español de Iluminación, Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, [con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España]. Madrid: IDAE; 2005.

[8] España. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. Recomendaciones para el proyecto y diseño del viario urbano / Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. Madrid Dirección General de la Vivienda, de la Arquitectura y el Urbanismo; 2000.

[9] Chueca Goitia, Fernando. Breve historia del urbanismo. Madrid: Alizana; 2011.

[10] Cano Forrat, Juan. Introducción a la historia del urbanismo. Valencia: Editorial de la UPV, DL.; 2003.

[11] Biblioteca de materiales de ECOTECT, software de análisis y simulación energética de los edificios.