

## **TOLDO URBANO: POSIBILIDADES DE REDUCCIÓN DE LA DEMANDA DE REFRIGERACIÓN**

**<sup>1\*</sup>García Nevado, E.; <sup>1</sup>Coch Roura, H.**

**<sup>1</sup>Architecture & Energy, School of Architecture of Barcelona. UPC**

**Av. Diagonal 649 08028 Barcelona (España)**

**e-mail: \*elena.garcia.nevado@upc.edu**

### **RESUMEN**

El contexto de crisis económica y energética en que nos encontramos, hace necesario repensar la forma de planificar la ciudad partiendo de un concepto global de eficiencia y entendiendo los edificios no como entes aislados que consumen energía, sino como parte de un sistema, consumidor una escala mucho mayor.

La relación entre morfología urbana y el microclima es una cuestión ampliamente tratada, abordándose el fenómeno isla de calor o el confort en espacios urbanos. Sin embargo, en cuanto a la influencia de estas variaciones microclimáticas sobre el consumo energético del edificio, aún queda mucho por hacer. En esta línea, nos planteamos: ¿sería posible implantar estrategias de modificación del microclima a escala urbana, que aumenten los niveles de confort en exterior y, simultáneamente disminuyan el consumo de los edificios?

En este artículo se analiza el caso del toldo urbano. Su eficacia como elemento de sombra, y su capacidad de mejorar las condiciones exteriores en climas con exceso de radiación solar, está ampliamente demostrada. En esta ocasión, nos centramos en su repercusión sobre el ambiente interior en edificios residenciales.

El caso de estudio se localiza en Córdoba (España), ejemplo de clima con verano cálido y seco (según CTE, severidad 4). Se ha creado un modelo de cañón urbano, en cuya parte central se ubican los dos edificios (uno a cada lado de la calle) objeto de simulación energética con Design Builder. Las características del modelo y simulación, responden a condiciones similares a las edificaciones residenciales del entorno. La efectividad del toldo se ha analizado en base a la disminución de demanda de refrigeración que genera, teniendo en cuenta ambos edificios. Se han considerado tanto variables espaciales (orientación de la calle, proporción ancho-alto, % de hueco en fachadas) como materiales (Transmitancia y masa de los cerramientos,% obstrucción solar del toldo).

Los resultados reflejan reducciones de demanda entre el 18 y el 45% y una mayor importancia de las variables espaciales frente a las materiales. El % de hueco en fachada se muestra como parámetro de gran relevancia, en contraposición a la masa y la transmitancia. Se concluye que el análisis debe efectuarse considerando las dos fachadas urbanas en su totalidad, es decir, partiendo de una perspectiva urbana que trasciende de la escala local de edificio.

**Keywords:** Microclima, Demanda de Refrigeración, Radiación Solar, Toldo Urbano

## **1.- Introducción**

Históricamente, el aumento de las exigencias en cuanto a confort y la popularización de los sistemas de climatización, se ha traducido en un progresivo aumento del consumo energético asociado a las edificaciones [1].

La crisis ecológica y energética que vivimos, hace necesario racionalizar el uso de la energía, por ejemplo, explotando al máximo las posibilidades del acondicionamiento ambiental por métodos pasivos.

En latitudes medias, la energía proveniente del sol, permite cubrir en muchas ocasiones la demanda de A.C.S y calefacción de manera pasiva o mediante energía renovable. Por contra, en el caso de la demanda de refrigeración, dar una respuesta pasiva a los requerimientos de confort resulta algo más complicado, aunque sin duda se debe comenzar por el control de la radiación.

En las edificaciones residenciales, responsables del 46% de la energía final consumida en el caso de España [2, 3], las protecciones solares son relativamente habituales, pero rara vez trascienden de la mera protección del hueco. En climas con elevada radiación solar, debe tenerse en cuenta que el efecto de la radiación sobre la parte opaca de cerramiento no puede ser despreciado. En definitiva, el uso local de protecciones solares constituyen de una mejora a nivel de edificio a nivel de acondicionamiento ambiental, pero con apenas repercusión a mayor escala.

El presente trabajo explora la repercusión sobre la demanda energética que tendría el uso de protecciones solares a nivel urbano gracias a la reducción de la radiación que penetra en el cañón urbano.

## **2.- Estado del arte**

### **2.1.- Influencia del contexto urbano sobre el microclima**

Encontrarnos en un entorno urbano o rural tiene una gran influencia sobre el balance energético global, puesto que altera la forma en que se producen los intercambios de energía. F.Sánchez de la Flor y S.Álvarez [4] resumieron los efectos que el entorno urbano puede generar sobre el microclima en la situación de verano.

El primero sería la modificación del balance de radiación: menor captación debido a las sombras, disminución de pérdidas por radiación de onda larga y un aumento de las ganancias de onda larga por reemisión de superficies calientes adyacentes.

El segundo, muy relacionado con el anterior, sería la mayor temperatura del aire que se alcanza en zonas densamente edificadas frente a las áreas abiertas, fenómeno conocido como "isla de calor". Oke [5] señala como causas, además de la modificación del balance radiación, otras como las fuentes de calor antropogénicas), la reducción del potencial de evapotranspiración y de las pérdidas de calor por convección por una menor velocidad del viento, tercer efecto reseñable.

Finalmente, comentan el efecto positivo que pueden tener para la situación de verano la existencia de láminas de agua y/o vegetación, generando enfriamiento evaporativo y absorbiendo parte de la radiación.

### **2.2.- Efecto del microclima sobre el consumo**

Mientras que la relación entre urbanización y microclima se viene estudiando desde hace tiempo, la investigación sobre la influencia de éste sobre el comportamiento de los edificios es mucho más reciente. Varios estudios demuestran que la modificación de las condiciones microclimáticas afecta de manera directa a su consumo energético, fundamentalmente, de climatización e iluminación. De todos ellos se desprende la importancia que adquieren los fenómenos de radiación -recibida y/o re-emitida-, con diversas aproximaciones al tema según la latitud sobre la que se esté realizando el análisis.

Stromann y Sattrup [6] estudian la relación entre densidad urbana y energía consumida en los edificios de oficinas en Copenhague. Para latitudes elevadas, el consumo global del edificio crece cuando aumenta la densidad de edificación para cualquier orientación, por el incremento en la demanda de iluminación y calefacción. Allegrini, Dorer y Carmeliet [7] estudiaron la influencia del microclima urbano en la demanda de climatización en Basilea. Concluyen que la demanda de refrigeración en edificios en un contexto urbano es siempre mayor que para los aislados, pero que disminuye cuanto más denso sea el tejido. Recalcan los fenómenos de radiación como elemento clave y el papel fundamental de la proporción de la calle. Para una latitud intermedia, con mayores ángulos de elevación solar, F.Sánchez de la Flor y S.Álvarez [4] trabajan sobre la relación entre microclima urbano y comportamiento de los edificios, destacando el potencial de ahorro en refrigeración reduciendo la radiación solar. Estos investigadores participaron en el acondicionamiento de espacios exteriores de la Exposición Universal de Sevilla'92, combinado el uso de protecciones solares, vegetación y torres evaporativas.

### **2.3.- Situación actual de la simulación energética**

De manera general, en función de su ámbito de estudio, podemos distinguir dos tipos de programas en función de la escala en la que centran sus cálculos.

Los primeros, programas de simulación energética de edificios (BES), evalúan el comportamiento energético del edificio y la demanda teórica de energía derivada del mismo. Crawley, Hand y Griffith [8] compararon las características particulares de los 20 principales programas del mercado: *BLAST*, *DOE-2.1E*, *EnergyPlus*, *TRNSYS*, *ECOTECH*... Consideran el edificio como un sistema que intercambia energía con un entorno cuyas características se prefijan según ubicación geográfica, sin apenas correcciones, por lo que las desviaciones pueden ser notables. Bozonnet [9] demostró que el consumo de un edificio en situación de verano podría variar más del 30%, en función de si se tomaba la temperatura real del aire exterior o de la estación meteorológica para la simulación.

Los segundos, programas de simulación del microclima, intentan definir las condiciones ambientales del espacio urbano, pero analizar su repercusión sobre el consumo de los edificios. En este grupo de programas, mucho menos numeroso que el anterior, destacan *Urban Weather Generator* (UWG), y ENVI-met.

Resulta evidente la necesidad de un proceso de acoplamiento entre ambos tipos de herramientas. En 2011 Bouyer [10] recalcó que “ninguna herramienta está dedicada a la evaluación directa del microclima sobre el consumo de energía del edificio” y a día de hoy la situación apenas ha cambiado. Aunque se está trabajando en esta dirección, las investigaciones tratan aspectos concretos de interacción entre microclima y demanda, pero sin una visión global. Ejemplo de ello sería el trabajo de Yang [11] sobre la influencia del microclima en las temperaturas de las superficies.

### **3.- Metodología**

Este trabajo tiene como objetivo estudiar las posibilidades de disminución demanda energética urbana mediante la modificación del microclima, centrándose en aspectos relacionados con el control de la radiación solar. Analizamos el caso del toldo urbano, un elemento de sombra capaz de modificar el balance de radiación del cañón urbano, y por tanto, de influir sobre las condiciones microclimáticas. La metodología empleada en este estudio queda detallada en Fig.1.

La efectividad del dispositivo se evalúa comparando la demanda de refrigeración del modelo inicial, con la del modelo que incorpora un toldo urbano, durante la semana de estudio y para uso residencial. Se debe recalcar que las demandas analizadas son suma de las demandas individuales de los edificios enfrentados que forman el

cañón urbano. Así, hablaremos de calles con fachadas norte+sur (N+S), este+oeste (E+O), sureste+noroeste (SE+NO) o su simétrica suroeste+noreste (SO+NE).

Para elaborar matriz de casos de estudio, se han modificado aspectos espaciales y materiales sobre un modelo base. A su vez, cada caso se simulará en dos situaciones, sin protección solar o con toldo urbano.

Las variables espaciales consideradas son: a) Proporción ancho/alto de la calle [ $W/H = 0.4 / 0.7 / 1$ ]; b) Orientación de las fachadas de la calle [N+S / E+O / NO+SE]; c) % Ventana en fachada [15% / 30%].

Las variables materiales analizadas han sido: a) % Obstrucción solar del toldo [80% / 50%]; b) Masa del cerramiento [muros de  $820 \text{ Kg/m}^2 / 190 \text{ Kg/m}^2$ ]; c) Transmitancia del cerramiento [ $2,51 \text{ W/m}^2\text{°C} / 0,84 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ].

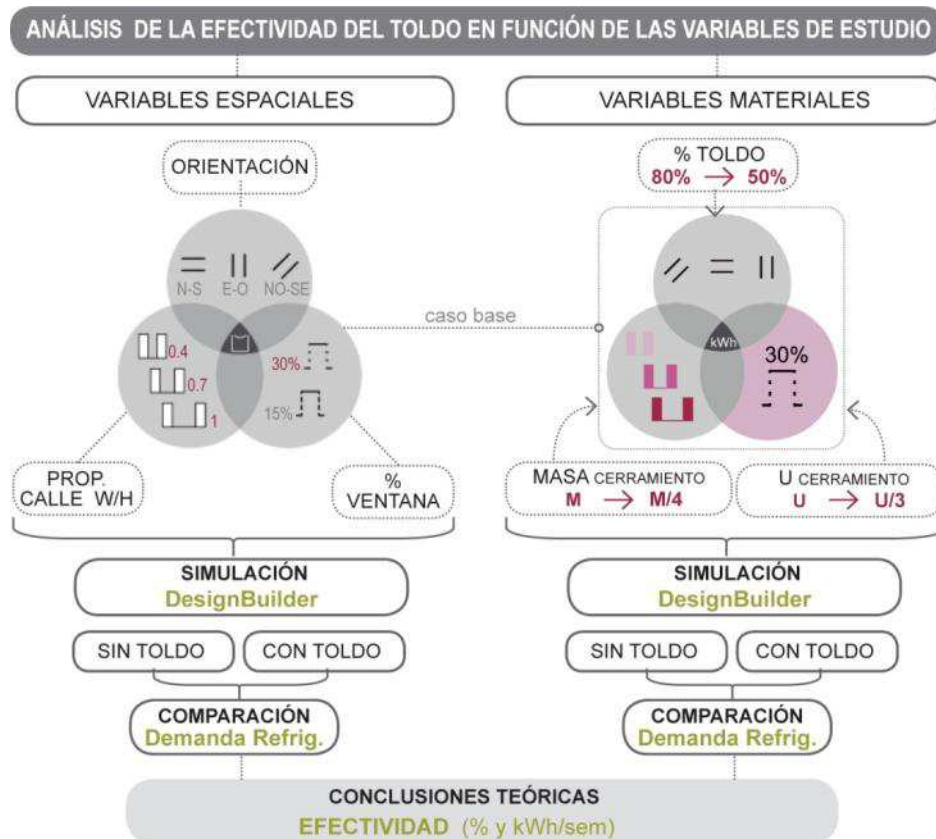


Fig.1 "Esquema metodológico". Fuente: elaboración propia

### 3.1.- Definición del modelo de cañón urbano

Las características geométricas del cañón urbano modelo se describen en la Fig.2. Existirán dos edificios de control en la parte central de las bandas edificadas. En dichos edificios, los cerramientos de cubierta, fachada y forjado en contacto con el terreno se consideran no adiabáticos, mientras que el resto de particiones interiores horizontales y verticales se tomarán como adiabáticas. La altura del cañón urbano (H) será constante frente a un ancho de calle (W) variable, obteniendo así las distintas proporciones W/H de calle estudiadas

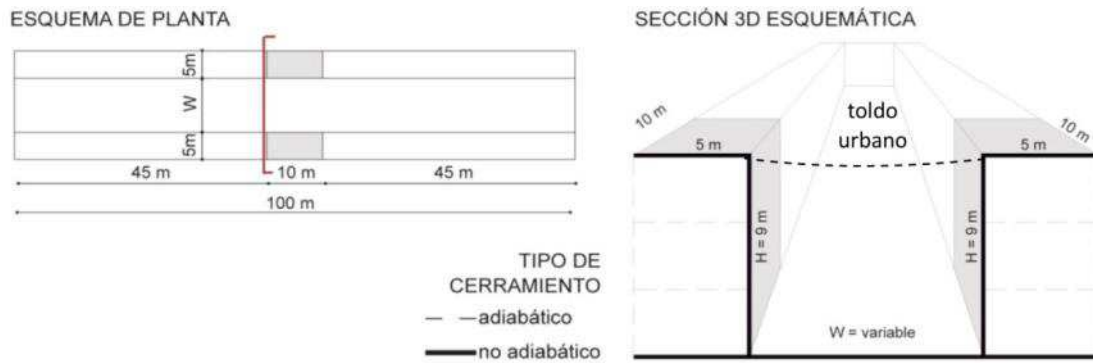


Fig.2 "Modelo de cañón urbano". Fuente: elaboración propia

### 3.3.- Condiciones de simulación

Como caso de estudio se escoge Córdoba (España, 37° 53'N), ciudad caracterizada por un verano cálido y seco. Los datos climáticos se han extraído del archivo SWEC, seleccionando como periodo de simulación del 24 al 30 de julio, por ser la semana con temperaturas más elevadas de la serie, con máximas cercanas a 40°C. Para las simulaciones se ha empleado DesignBuilder, versión 2.4. Las plantillas de actividad residencial empleada se corresponden con las del documento "Condiciones de Aceptación de procedimientos alternativos a Lider y Calener. Anexos", IDAE]. Se ha considerado una densidad de ocupación máxima de 0.04 personas/m<sup>2</sup>, distribuida de lunes-viernes al 100% de 23-7h, al 25% de 7-15h y al 50% de 15-23h) y durante el fin de semana al 100%. La temperatura de consigna fijada es de 26°C y la tasa de renovación con aire exterior de 10L/persona.

El sistema de climatización considerado es un "Split no fresh air" (COP=1.83), programado para funcionar de 9h a 2h.

El toldo urbano ha sido modelado dentro de DesignBuilder como un bloque de componente, de color gris claro, con una absorptancia de 0.5 y que estaría extendido de 8 a 20h.

## 4.- Resultados y discusión

### 4.1.- Análisis de la efectividad del toldo en función de las variables espaciales

#### 4.1.1.- Orientación de la calle

El toldo logra una mayor efectividad cuanto más importante es la demanda inicial, puesto que ésta se relaciona con las ganancias por radiación que el toldo ayuda a controlar. Por todo ello, el toldo urbano resulta más efectivo en calles con fachadas orientadas E+O (-38.8 % de la demanda), seguidas por las SE+NO y SO+NE (-35.8%) y, a gran distancia, de las N+S (-25%).

Cabe resaltar que, en caso de existir este tipo de protección solar, las demandas finales de refrigeración son muy similares para todas las orientaciones individuales, y por tanto para todas las calles (Fig.3).

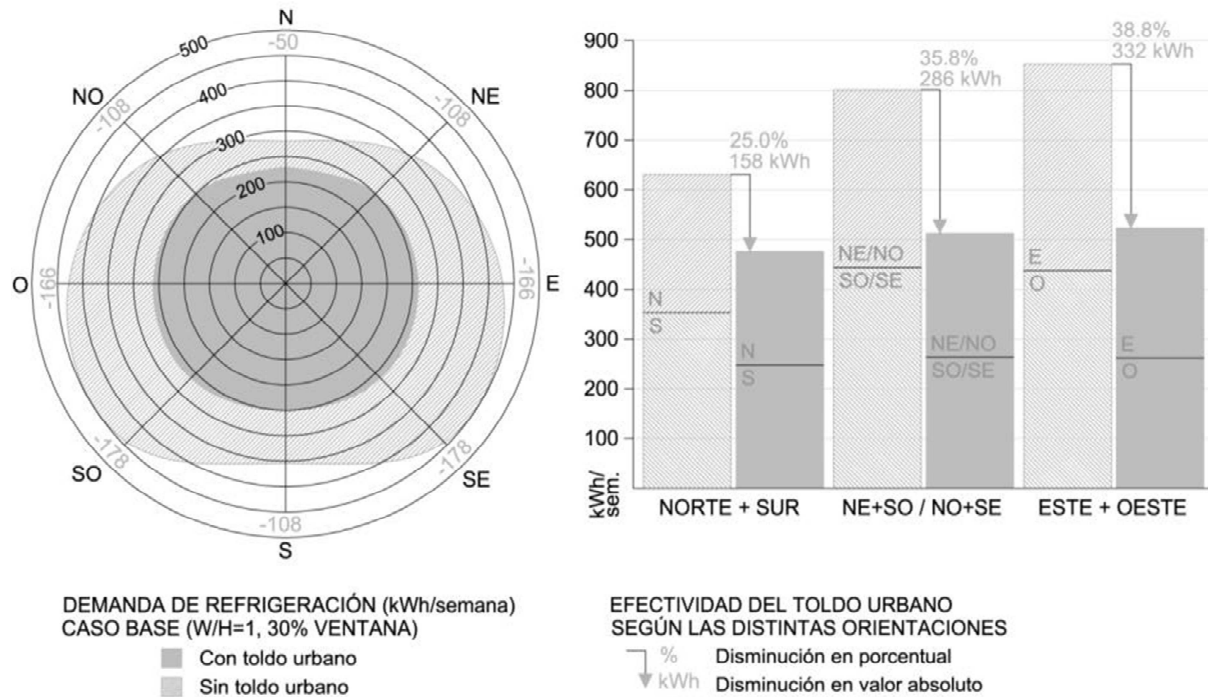


Fig.3 "Efectividad del toldo urbano por orientaciones ". Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.- Proporción W/H de la calle

De manera general, la demanda de refrigeración inicial crece con la proporción W/H de la calle, ya que se reduce el efecto de sombra producido por la propia morfología urbana y será en estos casos en los que el toldo resulte más efectivo (Fig.4).

Vemos que la modificación del ratio W/H no afecta por igual a todas las orientaciones en términos de demanda. Un aumento de la proporción W/H afecta considerablemente más a las calles con fachadas E+O, seguidas de las NO+SE y NE+SO, mientras que para las N+S, resulta mucho menos relevante.

Cabe resaltar que, para ratios W/H bajos, resultan más importantes las variaciones de este parámetro, mientras que partir de cierta proporción de calle, este variable comienza a ser irrelevante. Por todo ello, según proporción de la calle, se observan diferencias considerables en cuanto a la capacidad del toldo para reducir la demanda en términos absolutos.

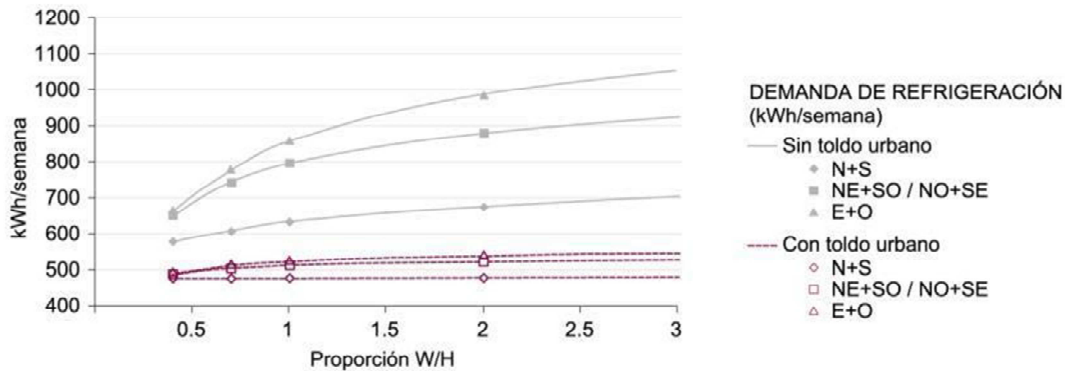


Fig.4 "Efectividad del toldo según proporción W/H ". Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.- % Ventana en fachada

Reducir la tasa de acristalamiento a la mitad, hace disminuir la demanda inicial de entre el 22-30% según la orientación (Fig.5), debido a la limitación de las cargas por transmisión y por radiación directa a través del vidrio ( $U_{pared} = 2.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ,  $U_{vidrio} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ).

El toldo resulta más efectivo cuanto mayor es la demanda inicial y por tanto, será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño del hueco. Emplear un toldo en una calle con 30% de huecos en lugar de en una con 15%, supone que la eficacia del dispositivo sea entre un 6.6% y un 8.1% mayor.

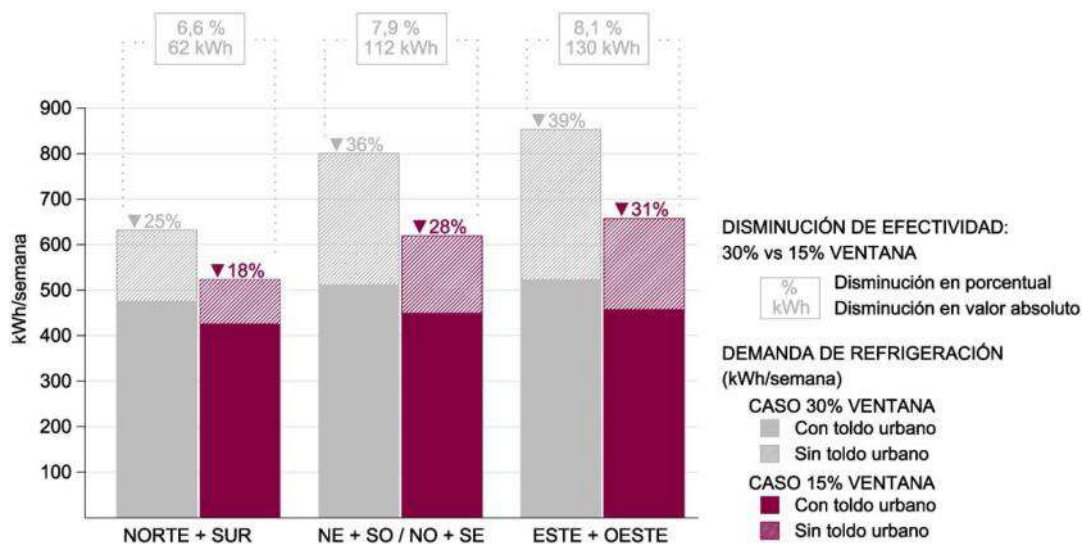


Fig.5 "Efectividad del toldo urbano según %de Ventana ". Fuente: Elaboración propia

## 4.2.- Análisis de la efectividad del toldo en función de las variables materiales

### 4.2.1.- %Obstrucción del toldo

Las simulaciones en la situación con toldo urbano muestran que la disminución del 30% en la obstrucción del dispositivo, supone un aumento de la demanda final de entre el 6 y el 19%. Estos incrementos que pueden parecer relativamente pequeños en la demanda final, significan una considerable reducción en cuanto a efectividad del dispositivo (entre tres y cuatro veces menos efectivo) y pueden hacerlo poco competitivo con respecto a protecciones solares a escala local.

Finalmente, cabe decir que conforme se reduce la opacidad del toldo, las diferencias entre demandas finales de las diferentes orientaciones y proporciones de calle son mayores .

### 2.2.- Masa y Transmitancia "U" del cerramiento

Evaluaremos las repercusiones en cuanto a efectividad del toldo por un lado, de una fachada cuatro veces más ligera y, por otro, de una envolvente tres veces más aislada. Ambas modificaciones afectan a la forma en se producen los intercambios por transmisión, mientras que el toldo influye sobre los de radiación. Dado que el toldo es el mismo en ambos casos, la cantidad de energía por radiación evitada será la misma y por ello, la efectividad del dispositivo en valor absoluto resulta prácticamente independiente de la variación de la masa o la transmitancia.

Respecto al caso base, la reducción de masa apenas aumenta un 4% en las demandas iniciales y finales respecto a las del caso base, mientras que triplicar el aislamiento, genera notables disminuciones de las demandas (22-40%). Esta reducción de las cargas por transmisión conlleva un aumento de la efectividad del toldo en términos porcentuales de alrededor de un 10%, ya que los aportes de radiación toman un mayor peso relativo en relación a las cargas totales.

## 5.- Conclusiones

Este trabajo demuestra que es posible, mediante una actuación a escala urbana, reducir la demanda de refrigeración a escala individual de edificio. Tomando el caso de estudio la ciudad de Córdoba, se observan disminuciones de demanda de refrigeración 18% y el 45% gracias a la presencia del toldo urbano.

Los rangos de efectividad del dispositivo reflejan únicamente la disminución de demanda debida a la reducción de las cargas de radiación solar (directa y reflejada), pero no otros efectos de segundo orden (cambios en la temperatura radiante de las



superficies o en la temperatura del aire). A partir de los rangos de variación de los distintos parámetros, se ha establecido una escala de importancia relativa entre las variables de estudio (Fig. 6). Excepto la orientación, todas las variables se han evaluado parcialmente (con valores típicos para edificios residenciales), por lo que esta escala resulta válida únicamente en casos similares a los del estudio.

De manera general, la efectividad del dispositivo depende en mayor medida de las variables espaciales que de las materiales. Las variables puramente morfológicas (orientación y proporción W/H de la calle) son las más influyentes en relación a la efectividad del toldo urbano. En cuanto a las repercusiones de la configuración de la fachada sobre la efectividad del toldo, se muestra la gran importancia la tasa de acristalamiento, a diferencia de la masa y la transmitancia del cerramiento.

La implantación de esta estrategia permitiría una mayor uniformidad de demandas de climatización a escala urbana, además de notables mejoras en cuanto a confort de los espacios exteriores.

Finalmente, este estudio recalca la importancia de realizar el análisis considerando las fachadas enfrentadas, es decir, desde de una perspectiva urbana que trasciende de la escala local de edificio.

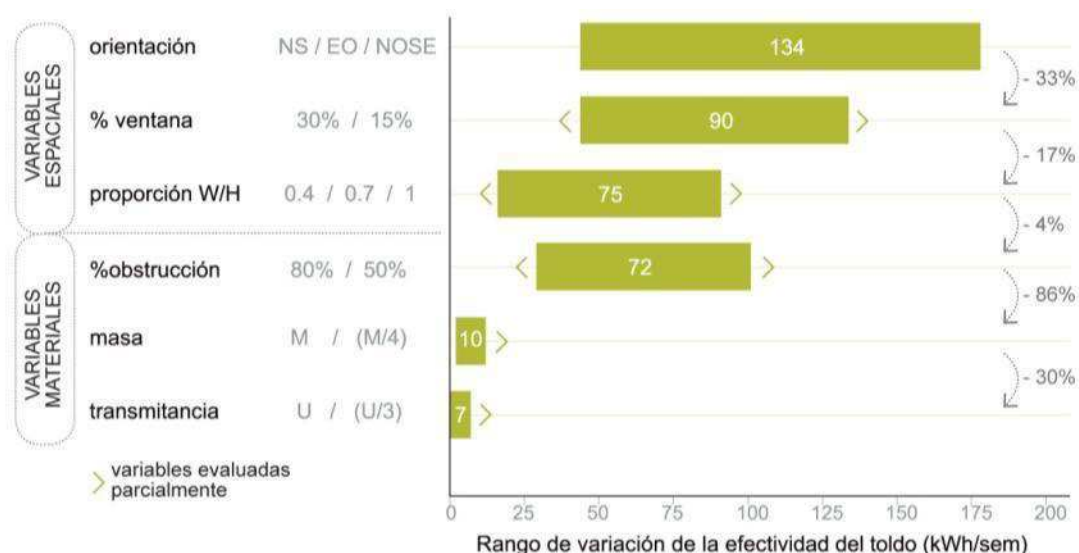


Fig.6 "Importancia relativa de las variables de estudio". Fuente: Elaboración propia

## AGRADECIMIENTOS

Los resultados de esta investigación se enmarcan dentro del Proyecto "Fundamentos para la caracterización de la morfología urbana mediterránea. Parámetros para la eficiencia energética en la arquitectura (M.U.M.)" del Programa de I+D+i "Retos de Investigación" del Ministerio de Economía y Competitividad, convocatoria de 2013.

## REFERENCIAS

- [1] Serra Florensa, R. , "Arquitectura y climas". 1999.
- [2] European Commission Energy: Market observatory & Statistics Annual, "2011 - Energy markets in the EU," [http://ec.europa.eu/energy/observatory/annual\\_reports/annual\\_reports\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/observatory/annual_reports/annual_reports_en.htm), 2011.
- [3] IDAE, "Informe anual de consumos energéticos," 2011.

- [4] F. J. S. de la Flor, J. M. S. Lissén, and S. Á. Domínguez, "A new methodology towards determining building performance under modified outdoor conditions," *Building and Environment*, vol. 41, no. 9, pp. 1231–1238, Sep. 2006.
- [5] T. R. Oke, "The energetic basis of the urban heat island (Symons Memorial Lecture, 20 May 1980).," *Quarterly Journal, Royal Meteorological Society*, no. 455, pp. 1–24, 1982.
- [6] J. Strømmand-Andersen and P. a Sattrup, "The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 8, pp. 2011–2020, Aug. 2011.
- [7] J. Allegrini, V. Dorer, and J. Carmeliet, "Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings," *Energy and Buildings*, vol. 55, pp. 823–832, Dec. 2012.
- [8] D. B. Crawley, J. W. Hand, and B. T. Griffith, "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs," vol. 43, pp. 661–673, 2008.
- [9] E. Bozonnet, R. Belarbi, and F. Allard, "Thermal behaviour of buildings: Modelling the impact of urban heat island," *Journal of Harbin Institute of Technology (New Series)*, vol. 14, no. SUPPL., pp. 19–22, 2007.
- [10] J. Bouyer, C. Inard, and M. Musy, "Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 7, pp. 1549–1559, Jul. 2011.
- [11] X. Yang, L. Zhao, M. Bruse, and Q. Meng, "An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments," *Energy and Buildings*, vol. 54, pp. 243–251, Nov. 2012.