



Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor

Autor: José Alfonso Gálvez Salinas

Institución: Universidad de Granada

Resumen

La gravedad de algunos de los efectos de la Isla de Calor Urbana (Urban Heat Island) sobre la salud de las personas, la economía y el medio ambiente, pone de manifiesto la necesidad de desarrollar nuevas estrategias a escala urbana que ayuden a combatir este fenómeno. Uno de los principales factores con mayor capacidad de mitigación son los corredores fluviales urbanos. En este sentido, el objetivo de este trabajo es generar un conjunto de criterios de planificación y diseño para estos corredores fluviales con el objetivo de ayudar a reducir la intensidad y tamaño de la isla de calor.

El contenido de este trabajo se articula en una primera parte donde se describen las características de la isla de calor, sus principales efectos sobre la salud de las personas, la economía y el medio ambiente, y, en último lugar, los factores urbanos que más inciden sobre su tamaño e intensidad. En un segundo bloque se aborda, con un carácter más pormenorizado, los corredores fluviales urbanos y su incidencia sobre la isla de calor. Finalmente, en base a todo el análisis anterior, se establecen los criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos.

Palabras clave: Isla de Calor Urbana (Heat Urban Island), mitigación, corredores fluviales urbanos, criterios de planificación y diseño

1 INTRODUCCIÓN

La ciudad podría ser considerada como el medio ambiente más antrópico que existe, del cual podemos destacar algunos de los elementos que mejor lo caracterizan, tales como la eliminación de la cubierta vegetal por sustratos impermeables, la generación de masas compactas de edificios elevados, la producción de contaminantes (polvos, aerosoles, etc.) y el consumo continuado de energía, entre otros. Todas estas actividades están provocando alteraciones en las condiciones ambientales de las ciudades (Cuadrats, 1993), siendo una de las más significativas la relacionada con las condiciones microclimáticas. Especialmente es importante esta alteración con respecto a la temperatura, detectándose un notable aumento en comparación con la de sus entornos naturales más inmediatos. Este fenómeno que fue caracterizado por primera vez por Luke Howard en la ciudad de Londres en 1818, hoy día es denominado *Isla de Calor Urbana* “*Urban Heat Island, UHI*” (Manley, 1958).

Los aumentos de temperatura experimentados en algunas ciudades, debido a la aparición de islas de calor, están provocando importantes problemas sobre la calidad del aire (contaminación), la salud de las personas, la economía (aumento de la demanda energética) y el confort térmico de la ciudad. En relación con la calidad del aire se está produciendo un aumento de los contaminantes atmosféricos debido a que la aparición de la isla de calor evita la renovación del aire y, por tanto, que estos puedan ser dispersados (Bolund y Hunhmmar, 1999). A su vez, esta acumulación de contaminantes acentúa la aparición de enfermedades respiratorias, mientras que el propio aumento de calor induce la aparición de otro tipo enfermedades (Sailor, 2004) y efectos sobre la salud de las personas como son los problemas cerebrovasculares, síncope, calambres, etc. Por otra parte, en regiones templadas y cálidas, está suponiendo un importante aumento del consumo energético como consecuencia de la mayor demanda de refrigeración requerida en el interior de los edificios (Santamouris et al., 2001). Y por último, se puede hablar de la merma del confort térmico que se está experimentando en las ciudades donde tiene lugar este fenómeno (Gartland, 2008).

La mayoría de los trabajos consultados sobre la Isla de Calor Urbana, para diferentes ciudades españolas donde tiene lugar (Carreras, 1990; Cuadrat, 1993; Montavez, 2000; Alonso et al. 2003), revelan que estas varían de una a otra en tamaño e intensidad, ya que dependen de diversos factores como la topografía, el tamaño de la ciudad, la densidad de población, la intensidad del tráfico, la superficie de zonas verdes, etc. En la mayoría de los trabajos citados anteriormente, los esfuerzos se centran en caracterizar la isla de calor, tratando de determinar cuál es el tamaño, la magnitud o cómo varía con respecto a las diferentes fases del día. En definitiva, son trabajos donde se ha tratado de dilucidar qué factores (tráfico, zonas verdes,...) tienen influencia positiva (incrementan) o negativa (mitigan) sobre la isla de calor. Uno de ellos son los corredores fluviales a su paso por las ciudades (corredores fluviales urbanos), los cuales ejercen un efecto mitigador (Hathway, 2012). Sin embargo, aunque esta relación ha quedado demostrada

ya desde los primeros trabajos realizados a principios de los años 90 en España (Carreras, 1990), en muy pocos se pone de manifiesto qué tipo de actuaciones en los corredores fluviales podrían potenciar su efecto mitigador.

En consonancia con todo lo anterior, se considera oportuno ahondar sobre los corredores fluviales urbanos como elemento para mitigar las islas de calor urbano. Por tanto, se hace necesario, en un primer momento, conocer los elementos que influyen en la isla de calor y, en base a ellos, generar una serie de pautas de actuación (planificación y diseño de los corredores urbanos fluviales) con la intención de potenciar su efecto mitigador sobre la isla de calor.

2 OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación es aportar un conjunto de criterios teóricos para la planificación y el diseño de los corredores fluviales urbanos que ayuden a combatir la isla de calor (mitigar) y, consecuentemente, mejorar aspectos relacionados con la salud de las personas, la contaminación urbana, el consumo energético y el confort térmico de la ciudad.

Para dar cumplimiento al objetivo principal, se plantearon los siguientes objetivos secundarios:

- Caracterizar la **isla de calor** y dar a conocer sus principales efectos.
- Identificar los **factores que más influyen sobre la isla de calor**.
- Demostrar la **influencia de los corredores fluviales urbanos** (ríos) sobre la isla de calor.
- Generar **criterios para la mitigación de la isla de calor** mediante las actuaciones en la planificación y el diseño de los corredores fluviales urbanos.

3 LA ISLA DE CALOR (URBAN HEAT ISLAND)

El primer lugar donde se tuvo constancia de la existencia de una fuerte diferencia de temperatura entre el centro de la ciudad y su entorno natural más cercano fue en la ciudad de Londres, a manos del meteorólogo Luke Howard en 1818. Este fenómeno fue identificado posteriormente en otras ciudades como París o Viena, aunque su denominación actual, *isla urbana de calor* (*Urban Heat Island*), no sería establecida hasta 1958 por Manley¹ (Carreras, 1990).

La isla de calor urbana es un fenómeno que se produce en las áreas urbanas y suburbanas como consecuencia de la utilización de materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar (albedo²), muy superiores a las capacidades de los

¹Manley (1958)

² Es el porcentaje de radiación solar que es capaz de reflejar un material (Heat Island Group).

materiales naturales o de las áreas rurales menos desarrolladas (Gartland, 2008). Además de los materiales empleados en el desarrollo de las ciudades, hay otra serie de parámetros que también influyen en la generación de una isla de calor, tales como la tipología edificatoria, la densidad de población³, la intensidad de los flujos vehiculares, el tamaño de la ciudad, etc. (Véase 4. *Factores que influyen en el tamaño y la intensidad de la isla de calor*).

Atendiendo a los resultados de los trabajos de investigación de Cuadrats (1993) y Gartland (2008), la descripción de la isla de calor se puede realizar gracias a tres parámetros: intensidad, forma o configuración y localización de su máximo térmico.

La *intensidad* de la isla de calor es una medida de su fuerza o magnitud (Gráfico 1). Se refiere a la máxima diferencia de temperatura que es capaz de alcanzar, en su máximo térmico dentro de la capa de dosel urbana (CDU)⁴, con respecto a la de su entorno natural más inmediato para un momento determinado. En la medición de este valor se deben considerar algunos factores físicos como la altitud o la morfología, los cuales pueden distorsionar y/o entorpecer las mediciones.

La *forma o configuración* se refiere a la distribución espacial de las *isotermas*⁵, las cuales suelen tomar un patrón espacial similar al de una isla que se ajusta a la forma espacial de la ciudad (Gráfico 1). El valor de las isotermas (+4, +3,...) representa la diferencia de temperatura con respecto a la del entorno natural que es tomado como referencia.

El *máximo térmico* es el ámbito espacial (área) donde se produce la mayor diferencia de temperatura (*intensidad*) con respecto a la que se ha tomado como referencia en el área rural o no urbana (Gráfico 1).

³ Densidad de población se refiere a las diferentes concentraciones de personas que se producen a lo largo de un día en una ciudad.

⁴ CDU es la capa de aire de las ciudades más cercana a la superficie, la cual se extiende hacia arriba hasta aproximadamente la altura media de las edificaciones (Voogt, 2008) (Gráfico 2).

⁵ Son curvas que representan la misma temperatura para una unidad espacial y temporal concreta.

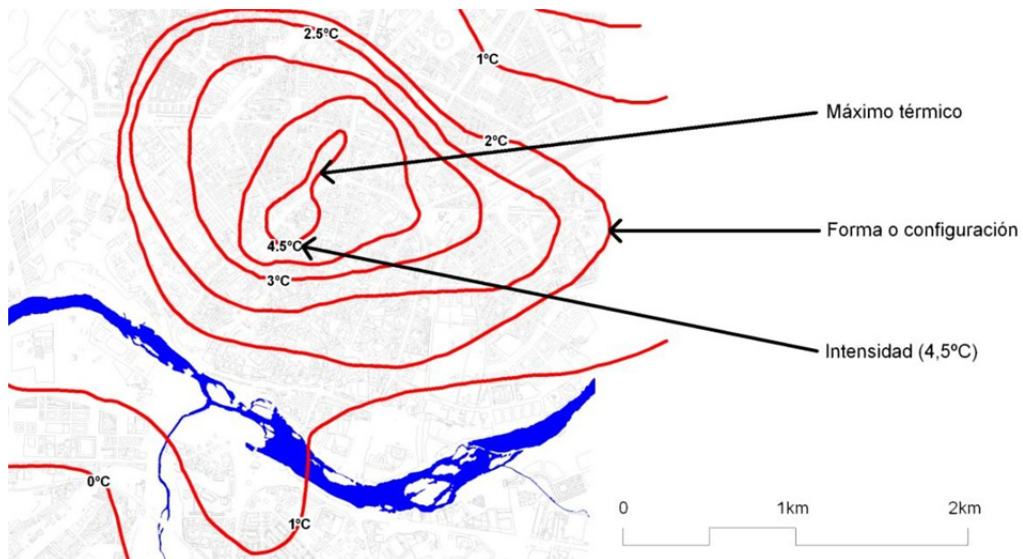


Gráfico 1. Intensidad, máximo térmico y forma o configuración de la isla de calor.
Fuente: Elaboración propia a partir de Alonso et al. (2009)

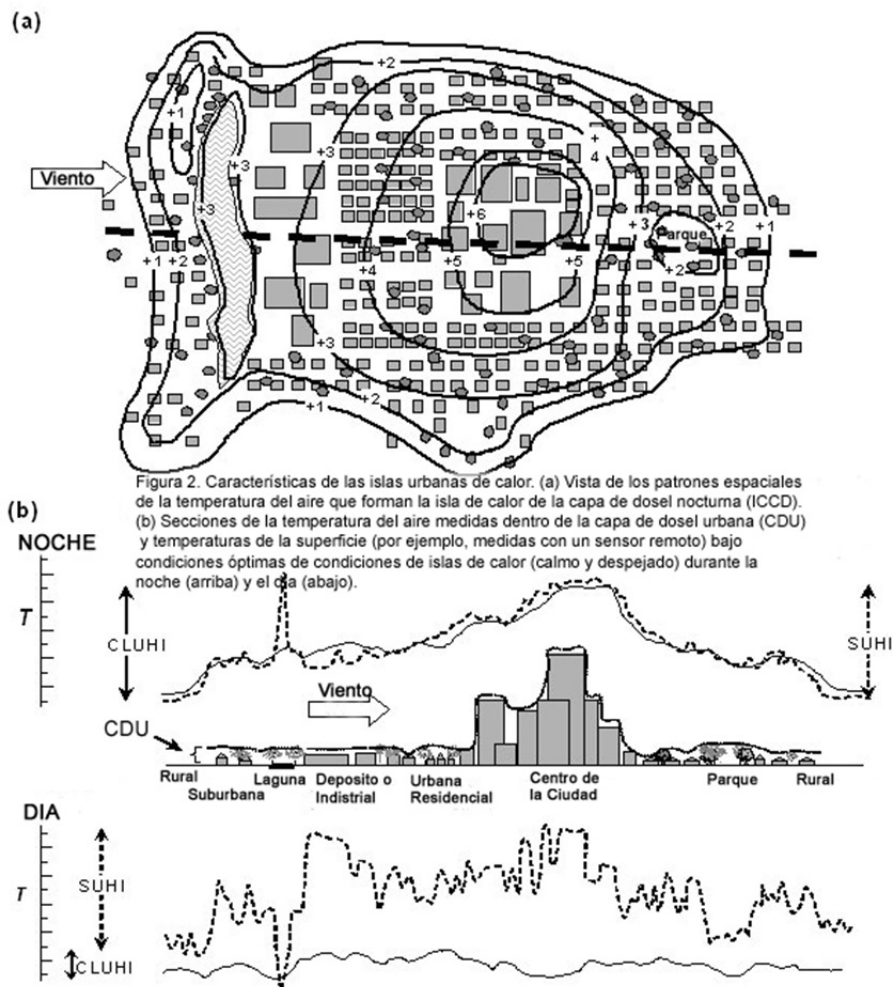


Gráfico 2. Características de la Isla de Calor.
Fuente: Voogt (2008)

3.1 Características de las Islas de Calor

A pesar de la diferencias existentes entre unas islas de calor y otras, en relación con su intensidad, forma y máximo térmico, es posible identificar una serie de aspectos comunes o patrones que se suelen repetir en todos los casos. Conocer estas características ayuda a comprender mejor la naturaleza y comportamiento de este fenómeno. De forma muy escueta y somera pueden resumirse en los siguientes puntos (Gartland, 2008):

1. Se caracterizan por ser espacios con temperaturas más altas que sus entornos rurales más próximos, pero con distintos patrones de comportamiento según la parte del día que se considere (Gráfico 2 y 3). Normalmente, en la puesta de sol suele alcanzarse la mayor diferencia de temperatura con respecto a la del entorno natural.

2. La temperatura del aire suele estar condicionada por el calor de las superficies urbanas, es decir, por aquellos ámbitos de la ciudad donde los materiales empleados tienen valores de albedo inferiores en comparación con elementos naturales (37% aprox.).
3. Estas diferencias de temperatura se acentúan cuando las condiciones del tiempo son de vientos en calma y cielos despejados.
4. Cuanto mayor grado de desarrollo urbano y menos vegetación, mayor tamaño e intensidad de la isla de calor, la cual depende también del tamaño de la ciudad (Gráfico 1).
5. Este fenómeno suele generar la aparición de inversiones térmicas entorno a los 2 km de altitud sobre las ciudades. Las cuales provocan la concentración de los contaminantes e impiden que estos se dispersen.

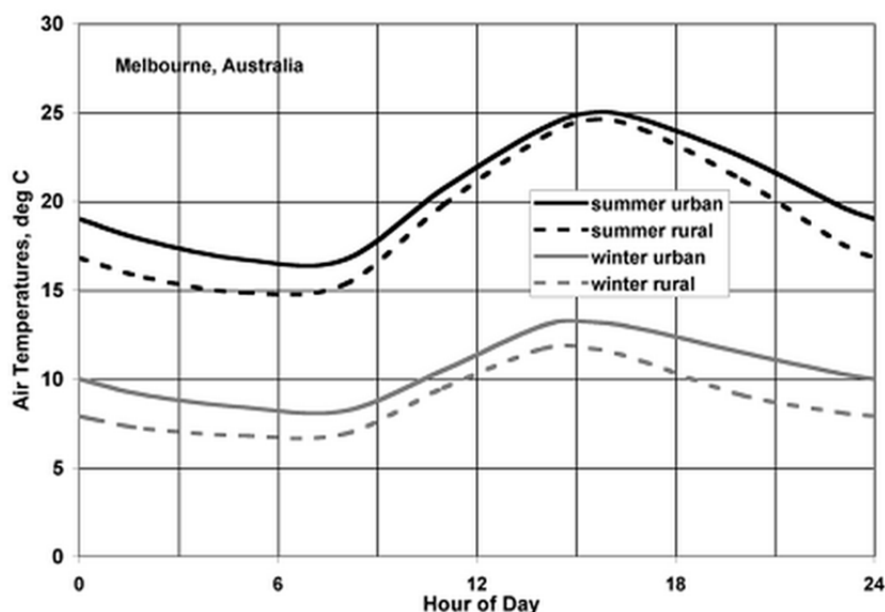


Gráfico3. Temperaturas estivales e invernales para el distrito central (urban) y el aeropuerto (rural) en Melbourne, Australia.

Fuente: Morris and Simmonds (2000) en Gartland 2005

3.2 Efectos de la Isla de Calor

La isla de calor urbana conlleva asociados un conjunto de efectos con incidencia directa sobre la población. En este apartado se describen aquellos que tienen repercusión sobre la economía, la salud de las personas y la calidad urbana del aire, y que, además, son argumentos de peso para poner de manifiesto la urgente necesidad de hacerle frente a la isla de calor.

Investigadores como Elsayed (2012) y Santamouris (2001) han demostrado que uno de los principales efectos de la isla de calor recae sobre la economía, debido al aumento del

consumo de energía necesario para la climatización de los edificios. Este efecto ha sido demostrado para la ciudad de Los Ángeles⁶ (EE.UU), donde este aumento de demanda energética llega a suponer entre un 5 y 10% del total de la energía consumida, lo que se traduce en un coste adicional cercano a los 100 mill. de dólares al año. Por tanto, se está atendiendo a un efecto con repercusiones más allá de la escala local, puesto que este aumento de la demanda energética debe suplirse con una mayor producción. Producción que genera otros efectos ya conocidos.

Otra consecuencia de la isla de calor está relacionada con la salud de las personas. La exposición continuada en el tiempo a un ambiente con temperaturas elevadas provoca trastornos como son el agotamiento por deshidratación, calambres, síncope, golpes de calor, la aparición de enfermedades cerebrovasculares e incluso un aumento de la mortalidad (Miron et al. 2007; Martínez et al. 2004). Tal y como describe Streutker (2003), esta exposición continuada, en Estados Unidos, llega a registrar una media de 1.000 muertos al año (Gráfico 4).

Otro efecto más sobre la salud de las personas, es el incremento de la mortalidad y la aparición de serios problemas respiratorios como consecuencia del aumento de los niveles de polución en la atmósfera (Ballester et al. 2003). Estos problemas respiratorios sobre la salud de las personas, son producto de la acumulación de contaminantes (PM₁₀, humos negros, SO₂, NO, CO) debido a la imposibilidad de dispersar los contaminantes (Sailor, 2004). También, hay que destacar la formación de episodios intensos de neblinas (Smog⁷) los cuales producen una mayor retención de contaminantes. Los efectos sobre la salud de las personas derivados de esta retención afecta especialmente a la salud de los llamados grupos de riesgo (niños y ancianos), personas que trabajan en el exterior, personas con problemas respiratorios (asma, bronquitis, neumonías, enfermedades crónicas de pulmón, problemas cardiovasculares o alergias), tal y como se demuestra en Ballester et al. (2003).

⁶http://eetd.lbl.gov/newsletter/cbs_nl/nl02/cbs-nl2-heatislands.html

⁷ Forma de contaminación que se produce por el estancamiento del aire, durante periodos anticiclónicos (Deiros, 2008).

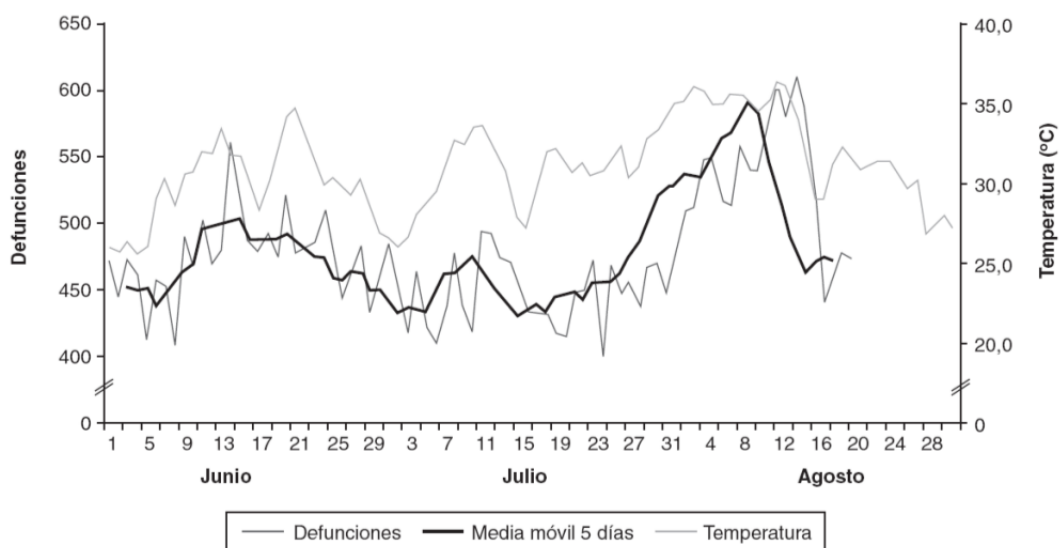


Gráfico 4. Defunciones y temperaturas máximas en España durante los meses de junio, julio y agosto de 2003.
Fuente: Martínez et al. 2003

En la mayoría de las ciudades, debido al excesivo consumo de suelo para uso urbano, se están perdiendo espacios naturales y abiertos los cuales propician unas condiciones microclimáticas más agradables en comparación con las urbanas. El resultado son entornos urbanos menos confortables térmicamente por el aumento de la temperatura y por alteraciones sobre otras variables como la humedad relativa y la velocidad del viento. La suma de todos estos factores provoca una disminución del confort térmico que incide sobre las personas produciendo un aumento del estrés de las personas (Elsayed, 2012). Especialmente, es destacable esta situación de estrés durante la noche cuando las personas tratan de conciliar el sueño.

En conclusión, existen argumentos suficientes para poner de manifiesto la necesidad de indagar sobre nuevas estrategias que ayuden mitigar la isla de calor y por ende a atajar los efectos que se derivan de esta. Ya que como se ha demostrado son muchos los aspectos relacionados con la vida cotidiana de las personas los que se ven afectados. Pero para hacer frente a la isla de calor, primero, es necesario conocer los factores que tiene mayor influencia, de manera que se puedan proponer estrategias de actuación.

4 FACTORES URBANOS QUE INFLUYEN EN EL TAMAÑO Y LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR

Antes de exponer los criterios teóricos que se proponen para la planificación y el diseño de los corredores fluviales urbanos, es necesario conocer cuáles son los factores que tienen mayor influencia sobre el tamaño y la intensidad de la isla de calor. El propósito es justificar con ellos la elección de cada uno de los criterios y, además, dar a conocer el posible potencial de cada uno para incidir (mitigar) la isla de calor.

Al ser el propósito de este trabajo generar criterios para la planificación y el diseño de corredores fluviales urbanos se ha obviado el factor topográfico, a pesar de ser uno de los factores que más condicionan el tamaño y la intensidad de la isla de calor. La decisión queda justificada por ser una variable sobre la cual no es posible intervenir.

La revisión de diferentes trabajos de investigación (Bello, 1995; Sailor, 2004; Cuadrat, 2005; Zhang, 2008; Hathway, 2012) permite identificar una serie de factores con capacidad para influir sobre la isla de calor. Según el autor y el caso de estudio abordado, se identifican unos factores u otros, ya que estos suelen variar sustancialmente por las distintas localizaciones geográficas y características de la ciudad. En este trabajo, y de acuerdo con los objetivos perseguidos, se han recopilado los factores inventariados en ciudades con características⁸ similares a las españolas. Siguiendo la premisa anterior, se han considerado que los factores más relevantes para las ciudades españolas son:

- El espacio edificado.
- La densidad de población.
- La cantidad de superficies ajardinadas.
- Las densidades vehiculares.
- El tipo de material de construcción utilizado en la urbanización.

4.1 El espacio edificado

La principal relación entre la isla de calor y el espacio edificado (*superficie de la ciudad*) tiene que ver con la aparición de nuevos materiales no naturales (*hormigón, acero, asfalto, etc.*), cuyo comportamiento, en relación con la capacidad de absorción y reflexión del calor, es muy distinto a las zonas naturales. Aspecto que se traduce en una mayor capacidad de retención calorífica y en un aumento de la temperatura urbana. En este sentido, es obvio que la extensión superficial de la ciudad es un factor con incidencia directa, puesto que a mayor superficie de espacio edificado mayor superficie e intensidad tendrá la de isla de calor (Gráfico 5). Hipótesis que ha quedado demostrada por los resultados del trabajo de Zhang (2008), quien toma como caso de estudio varias ciudades de China⁹ para las cuales obtiene un coeficiente de correlación de **0.950**.

⁸ Las características a las que nos referimos están relacionadas con la cantidad de horas de sol, las condiciones climáticas y su configuración espacial (densidad, diversidad, diseño).

⁹ Se recurre a este trabajo porque no se han encontrado estudios que determinen valores de correlación para ciudades con una localización más cercana.

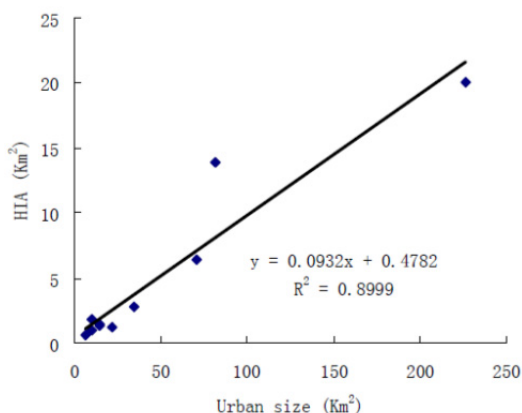


Gráfico 5. Relación entre el tamaño de la Isla de Calor (HIA) y el tamaño urbano.
 Fuente: Zhang, 2008.

4.2 Densidad de población

Otro elemento con incidencia directa sobre la isla de calor es la densidad de población, asociada tanto al uso residencial como al de las actividades económicas. Hay que matizar que, tal y como describen algunos autores (Sailor, 2004), la distribución espacial de la isla de calor en función de los diferentes períodos del día (mañana, tarde y noche) es explicada por los cambios de densidades de población que tienen lugar a lo largo de un día en la ciudad como consecuencia de las necesidades cotidianas (lugares de trabajo y lugares residenciales).

Este factor, según los resultados obtenidos por Zhang (2008), llega a alcanzar una correlación del **0.971**, en ciudades templadas de China. En el ámbito español, según Cuadrat (2005) se ratifica que la densidad urbana es un factor muy influyente sobre la isla de calor, siendo capaz de explicar por sí mismo hasta el 62% de la distribución espacial de la temperatura en la ciudad, aunque no determinar ningún valor de correlación como hace Zhang. Además, confirma que las zonas de mayor densidad urbana coinciden con las áreas donde se localizan los máximos térmicos en la ciudad (Gráfico 5).

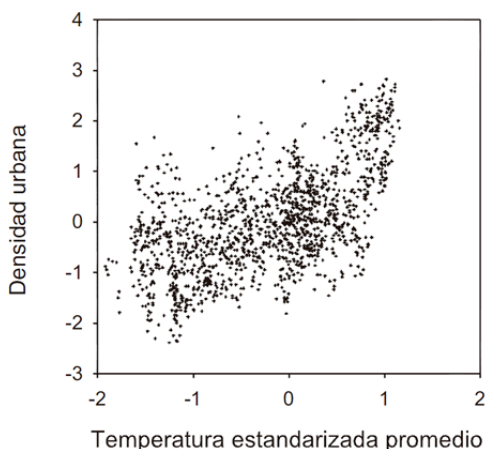


Gráfico 6. Relación entre las temperaturas estandarizadas y la densidad urbana.
 Fuente: Cuadrat (2005)

4.3 Superficies ajardinadas

La influencia de las zonas ajardinadas sobre la isla de calor ha sido objeto de estudio para muchos autores (Bello, 1995; Zhang, 2008), quedando demostrada su capacidad para reducir su tamaño e intensidad. Esta capacidad de reducción por parte de las zonas verdes es debida principalmente al mecanismo natural de refrigeración que es la evapotranspiración, aunque también a la existencia de suelo natural en vez de pavimentos de alquitrán o similares.

Para el ámbito español, los resultados de la investigación de Bello (1995) muestran la existencia de una correlación negativa entre la distribución espacial de la temperatura del aire y las zonas ajardinadas. En el mismo trabajo, se obtuvieron varios valores de correlación en función del tipo de situación atmosférica existente (Tabla 1).

Tabla 1. Correlación entra las Islas de Calor Medias e Islas de Calor bajo diferentes situaciones atmosféricas y los porcentajes de superficies ajardinadas.

Fuente: Elaboración propia a partir de Bello (1995)

Situación Atmosférica	Correlación
Tiempo estable	-0.87
Tiempo Inestable	-0.87
Calma	-0.88
Brisa	-0.74
Viento	-0.60
Media	-0.87

4.4 Densidad vehicular

La densidad vehicular es otro de los factores que tiene incidencia directa sobre la localización, tamaño e intensidad de la isla de calor, aunque con una intensidad inferior a los descritos anteriormente.

Al igual que la densidad de población, es posible explicar la variación espacial y temporal de la isla de calor en función de la variación del tráfico, viéndose incrementada la superficie e intensidad de esta cuando tienen lugar las mayores densidades vehiculares. Por tanto, se trata de una correlación positiva (Elsayed, 2012; Sailor, 2004; Ruiz-Flaño, 2008), es decir, aumenta la intensidad de la isla de calor. A pesar de su influencia no se ha encontrado ningún estudio donde se determinen el valor de correlación entre la isla de calor y la densidad vehicular.

Finalmente, es necesario recalcar que estos factores no son los únicos que influyen sobre la intensidad y el tamaño de la isla de calor, aunque sí los más importantes o de mayor incidencia según las características de las ciudades españolas. Hay que decir, que otro elemento con un alto grado de influencia son los corredores fluviales urbanos (ríos). Al ser este último el elemento central de la investigación, se ha preferido tratarlo en un apartado exclusivo.

5 CORREDORES FLUVIALES URBANOS E ISLA DE CALOR URBANA

La influencia sobre la isla de calor, por parte de los corredores fluviales, es un efecto que ya se podía deducir desde en los primeros estudios que trataban de caracterizar la isla de calor en ciudades que poseían río, en ellos se aprecia claramente el efecto mitigador de dichos corredores (Gráfico 8). Sin embargo, esta incidencia es un hecho que no comienza a estudiarse hasta hace relativamente poco tiempo. Los primeros trabajos se centraron en determinar la relación existente entre la superficie de agua y la incidencia de esta sobre la isla de calor (Bello, 1995; Zhang, 2008). Otros han ido un poco más allá y han abordado la relación entre los corredores fluviales y la forma urbana (Hathway, 2012).

La influencia que puede tener un corredor fluvial sobre la isla de calor, en la ciudades españolas, va a depender en buena medida de la dinámica de los sistemas locales de viento y de la estación del año (Voogt, 2008), siendo sus efectos más notables en las estaciones más cálidas (primavera y verano). También depende de otros factores como son la superficie de la lámina de agua en el río (Bello, 1995) y la forma urbana (Hathway, 2012).

Los sistemas de vientos locales es un factor que puede condicionar mucho la capacidad de reducción de los corredores fluviales. Es decir, si los vientos dominantes se producen en dirección contraria a la localización de la isla de calor, su efecto se verá muy mermado y viceversa.

Con respecto a la lámina de agua, los resultados del trabajo de investigación de Bello (1995), obtuvieron para la ciudad de Alcalá de Henares (Madrid) los valores de correlación que se muestran en la Tabla 2. En otro trabajo de investigación (Zhang, 2008) se obtuvo un valor medio de correlación muy similar al obtenido por Bello (-0.418). Estos resultados avalan que a mayor superficie de agua es de esperar una mayor mitigación de la isla de calor. De esta forma queda justificada la superficie de agua como otro factor de relevancia para combatirla.

Para entender el papel de la forma urbana sobre el efecto refrigerador de los corredores fluviales se ha recurrido al trabajo de Hathway (2012), en el cual se estudian cómo varía la temperatura, en diferentes formas urbanas (*espacio abierto, espacio cerrado, calle abierta, calle cerrada o encajonada por edificios*), desde un pequeño río en la ciudad de Sheffield (UK). En este estudio, además de demostrar la capacidad de los ríos de incidir sobre la isla de calor, se pone de manifiesto cómo la forma urbana influye sobre la capacidad refrigeradora de los ríos. En él se concluye que los mayores enfriamientos se correspondían con espacios abiertos de la ciudad aledaños al río que, además, coincidían con márgenes que poseían abundante vegetación.

Tabla 2. Correlación entre las Islas de Calor Medias e Islas de Calor bajo diferentes situaciones atmosféricas y los porcentajes de superficies de agua.

Fuente: Elaboración propia a partir de Bello (1995)

Situación Atmosférica	Correlación
Tiempo estable	-0,40
Tiempo Inestable	-0,32
Calma	-0,42
Brisa	-0,25
Viento	0,04
Media	-0.39

Por tanto, es posible concluir diciendo que el efecto mitigador de los corredores fluviales sobre la isla de calor está demostrado y que, además, hay ciertos aspectos que condicionan su capacidad (sistema local de vientos, estación del año, superficie de la lámina de agua, forma urbana). Aspectos que deberían ser tenidos en cuenta a la hora de generar criterios o pautas de actuación (mitigación) para la isla de calor.

6 CRITERIOS PARA LA PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE LOS CORREDORES FLUVIALES URBANOS PARA MITIGAR LA ISLA DE CALOR

Son numerosos y diversos los aspectos que pueden tenerse en cuenta a la hora de planificar y diseñar un corredor fluvial urbano para hacer frente a la isla de calor. Aunque hay que destacar que la relevancia de unos con respecto a otros va a depender en gran medida de los principales factores generadores de la isla de calor (*Ver IV.-Factores que influyen en el tamaño y la intensidad de la isla de calor*). En este apartado se ha tratado de recopilar aquellos elementos que, justificados por toda la argumentación de apartados anteriores (*Ver IV.-Factores que influyen en el tamaño y la intensidad de la isla de calor y V.-Corredores fluviales urbano e Isla de Calor*), potencialmente tienen una mayor capacidad para mitigar la isla de calor. Evidentemente, como se avanzó al principio del artículo se trata de una propuesta teórica, la cual no ha sido testada pero que se apoya, argumenta y justifica, a partir de los resultados de otros trabajos de investigación citados.

Los criterios que se proponen se ha organizado de acuerdo a dos categorías según corresponda a la planificación o el diseño del corredor. En el grupo de criterios de planificación se incluyen todos aquellos que van encaminados a orientar sobre la ordenación espacial de usos en el corredor fluvial. Mientras que en el de criterios de diseño se ubican aspectos más concretos relacionados con el tipo de materiales a emplear en la construcción del corredor. De acuerdo con la clasificación anterior se proponen los siguientes criterios:

Criterios de planificación:

1. *Vientos dominantes*
2. *Forma urbana*
3. *Superficie de agua*

Criterios de diseño:

1. *Tipo de encauzamiento*
2. *Entorno perfluvial*

4. Zonas verdes

Todos los criterios que se proponen precisan previamente de un estudio donde se caracterice la isla de calor (localización de máximo térmico, intensidad, tamaño), de manera que se puedan aplicar los criterios con el mayor grado de eficacia posible.

6.1 Criterios de planificación

6.1.1 Vientos dominantes

El primer criterio necesario para establecer la planificación de los corredores fluviales urbanos es conocer la dinámica local de los vientos. Esta información combinada con la identificación de determinadas formas urbanas (espacios abiertos con plazas o amplias avenidas) aledañas al corredor fluvial permitirá conocer cuáles son los potenciales canales de refrigeración existentes (Gráfico 7). De esta forma, la ubicación de las zonas verdes (4.3. *Superficies ajardinadas*) y la creación de una película de agua (5. *Corredores fluviales urbanos e isla de calor urbana*) deberá planificarse en aquellos espacios donde sea favorable a la dinámica local de vientos dominantes, si se pretende utilizar al corredor fluvial como elemento mitigador de la isla de calor.

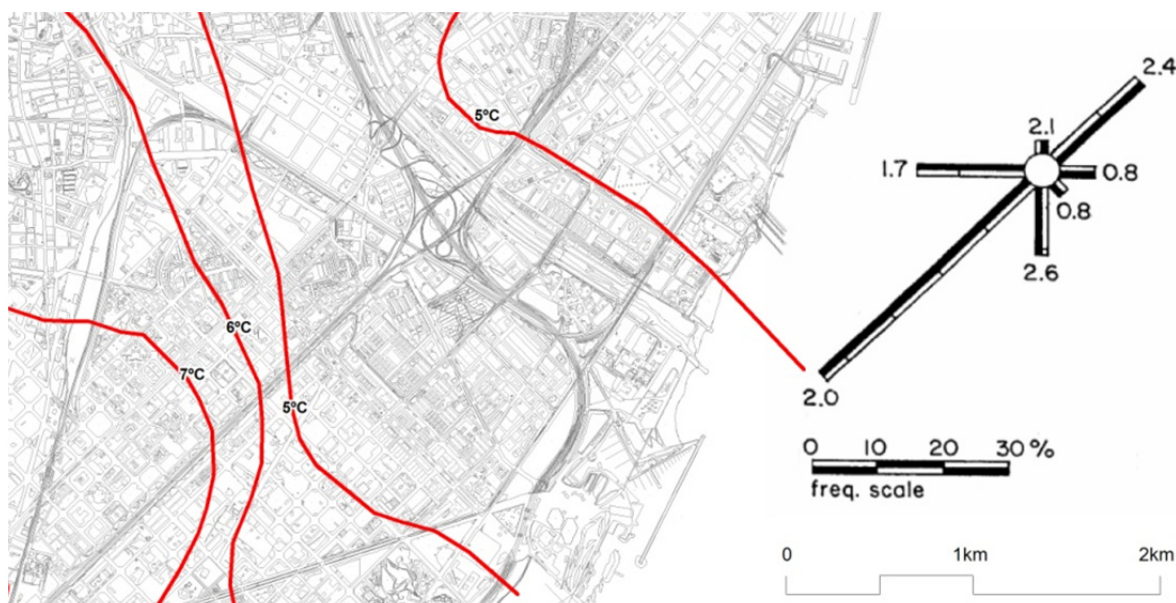


Gráfico 7. Vientos dominantes en el entorno de un ámbito fluvial y comportamiento de las isothermas para el periodo nocturno en la ciudad de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia Carreras (1990), Moreno (2012) e Instituto Catalán de Cartografía (ICC)

6.1.2 Forma urbana

El efecto de refrigeración de los corredores fluviales urbanos se ve en gran medida condicionado por la forma urbana (4.1. *El espacio edificado*), es decir la existencia de edificaciones o no que generan espacios abiertos o cerrados.

Ha quedado demostrado que los ámbitos que se ven más beneficiados por el efecto refrigerador de los corredores fluviales urbanos son los espacios abiertos (Hathway, 2012). Por tanto, habrá que localizarlos en el corredor y estudiar las posibilidades que ofrecen como elementos propicios para reducir la isla de calor gracias a su facilidad para transmitir la refrigeración proveniente de los ríos. En este sentido, la propuesta debe ir acompañada de otras medidas complementarias que aumenten el poder refrigerador, tales como las zonas verdes o la generación de superficies de agua. Por el contrario, en los espacios cerrados se deberá evitar la ubicación de estos usos potenciadores del efecto refrigerador (zonas verdes y superficies de agua).

6.1.3 Superficie de agua

Tal y como se ha demostrado en apartados anteriores (5. *Corredores fluviales urbanos e Isla de Calor*) la superficie de agua es otro elemento capaz de mitigar la isla de calor, de manera que sería muy beneficioso generar superficies de agua en aquellos espacios con características válidas para funcionar como elementos refrigeradores. Como ya se avanzó, la forma urbana y la dinámica de los vientos locales se convierten en los elementos condicionantes que determinarán dónde deberían ubicarse las superficies de agua (Gráfico 8).

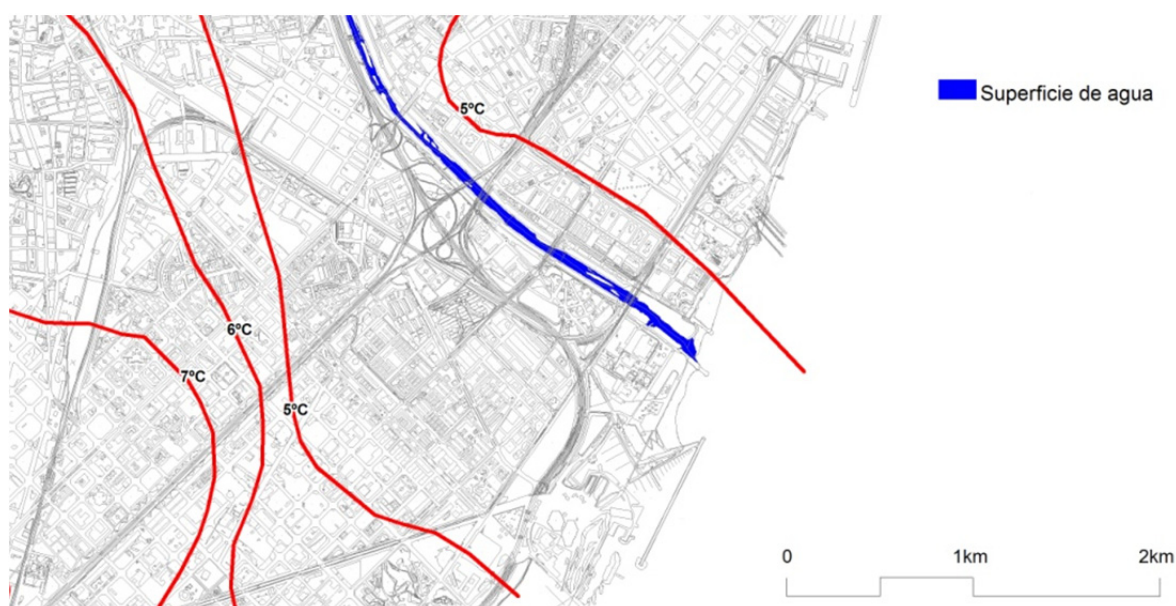


Gráfico 8. Superficie de agua en los corredores fluviales urbanos y comportamiento de las isotermas para el periodo nocturno en la ciudad de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia Carreras (1990) e Instituto Catalán de Cartografía (ICC)

6.1.4 Zonas verdes

La presencia de zonas verdes debería ser una constante a lo largo de todo el corredor cuando se pretenda utilizar los corredores fluviales como elemento mitigador de la isla de calor urbana. De esta manera, se garantizan altos niveles de evapotranspiración e

infiltración para ayudar a mantener la humedad del suelo y, por tanto, a disminuir la temperatura de los entornos más próximos. A su vez, se debería conseguir dar sombra a aquellos elementos urbanos que tengan unos valores de albedo bajos (fachadas edificios, pavimentos alquitranados, etc.) o directamente utilizar materiales con albedos próximos a los elementos naturales (6.2. *Criterios de diseño*).

Al igual que en el caso de las superficies de agua, deberían planificarse estratégicamente la ubicación y densidad de las zonas verdes, tratando de potenciar al máximo la refrigeración que es capaz de transmitir el corredor por los posibles canales que ofrece la ciudad (Gráfico 9).



Gráfico 9. Zonas verdes en el entorno de un corredor urbano fluvial y comportamiento de las isotermas para el período nocturno en la ciudad de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia Carreras (1990) e Instituto Catalán de Cartografía (ICC)

6.2 Criterios de diseño

6.2.1 Tipos de encauzamiento

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de un corredor fluvial urbano es decidir cuáles serán los materiales que se van a utilizar para su revestimiento o encauzamiento. Actualmente, existe un amplio abanico de posibilidades, aunque de acuerdo con el objetivo de la investigación nos centraremos en la permeabilidad de estos.

En la Tabla 3 se puede observar que la permeabilidad varía según el material por el cual se opte y, consecuentemente, esta selección influirá en los valores de evapotranspiración (3.1. *Características de la islas de calor*). Es decir, la utilización de materiales impermeables o semipermeables impide la presencia de vegetación en el interfaz e

incluso en la parte que corresponde al propio corredor natural. En este sentido, sería importante para el diseño del encauzamiento, seleccionar vegetación autóctona para los márgenes de la ribera. Teniendo en cuenta para su selección qué especies pueden aguantar las posibles avenidas del río, así como proporcionar los mayores niveles de evapotranspiración y sombra.

Tabla 3. Permeabilidad de los materiales de revestimiento (encauzamiento) de los ríos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Escarameia (1998).

Material		Permeabilidad
Roca	<i>Bloques de piedra</i>	Semipermeable
	<i>Losas de piedra</i>	Impermeable
Cemento	<i>Sólido</i>	Impermeable
	<i>Losas de cemento</i>	Impermeable
	<i>Bloques de cemento</i>	Semipermeable
Betunes	<i>Asfalto de piedra abierta</i>	Permeable
	<i>Asfalto de piedra densa</i>	Impermeable
	<i>Masilla</i>	Semipermeable
Formas flexibles	<i>Sacos llenos</i>	Semipermeable/ Impermeable
	<i>Relleno de arena</i>	Semipermeable

6.2.2 Diseño perifluvial

En los márgenes más inmediatos de los ríos suelen localizarse diferentes dotaciones e infraestructuras (parques, carriles bici, instalaciones deportivas, etc.), cuyo diseño deberá considerarse si que pretende reducir, y no potenciar, la isla de calor.

La importancia de este factor se justifica por los valores de albedo que poseen los diferentes materiales que suelen ser utilizados en el diseño de tales espacios. Al igual que se proponen para los tipos de encauzamientos (Permeable, Semipermeable, Impermeable), se establece otra clasificación en función del % de albedo:

Tabla 4. Clasificación de valores de albedo para materiales utilizados en los corredores fluviales.

Fuente: elaboración propia a partir de Alchapar, Correa & Cantón (2012)

Albedo	%
Alto	>40%
Medio	30-40%
Bajo	>30%

De acuerdo con la clasificación de los valores de albedo, se propone que los materiales a utilizar en el diseño perifluvial se ajusten a las siguientes recomendaciones:

- Materiales con albedo alto óptimos para todos los ámbitos del corredor fluvial.
- Materiales con albedo medio válidos para todos los ámbitos del corredor fluvial.
- Materiales con albedo bajo evitar su empleo en lugares abiertos, soleados y donde tengan influencia los vientos locales.

Para concluir la propuesta de criterios de planificación y diseño de corredores fluviales, se ha elaborado una tabla donde se pone de manifiesto, de una manera más gráfica, algunas de las sinergias detectadas en la revisión de diferentes trabajos. La cuantificación de estas combinaciones de elementos se ha establecido atendiendo a los valores de correlación (c) de cada uno de los factores¹⁰, estableciéndose las siguientes relaciones en función de dicho valor:

	c < -0,5	-0,5 < c > 0	0 < c > 0,5	c > 0,5
c < -0,5	++	+	o	-
-0,5 < c > 0	+	+	o	--
0 < c > 0,5	+	o	--	--
c > 0,5	o	--	--	--

Siendo: (++) Muy positiva, (+) Positiva, (o) Neutra, (-) Negativa y (--) Muy negativa.

De acuerdo con la consideración anterior, se obtiene los siguientes valores:

	CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN					CRITERIOS DE DISEÑO					
	F. Urbana		Superficie agua	Zonas verdes	Vientos dominantes	T. Encauz.			D. Entorno P.		
	Espacio abierto	Espacio cerrado				Permeable	Semipermeable	Impermeable	Alb. Bajo	Alb. Medio	Alb. Alto
Forma urbana	Espacio abierto		+	+	+	+	+	-	-	+	+
	Espacio cerrado		+	+	o	o	o	o	o	o	o
Superficie de agua				++	+	+	+	-	-	+	+
Zonas verdes					+	+	+	-	-	+	+
Vientos dominantes						o	o	o	-	+	+
Tipo de encauzamiento	Permeable								-	+	+
	Semipermeable								-	-	+
	Impermeable										
Diseño entorno perifluvial	Alb. Bajo										
	Alb. Medio										
	Alb. Alto										

¹⁰ Para aquellos elementos que no se ha obtenido un valor de correlación se les ha asignado en menos favorable tanto en su incidencia positiva como negativa.

7 CONCLUSIONES

Los efectos que produce la isla de calor sobre aspectos tan relevantes como la economía, la salud de las personas o el medio ambiente, son hechos suficientes para manifestar la necesidad de indagar sobre propuestas estrategias de actuación con las que combatirla.

En este trabajo se ha tratado de aportar nuevos resultados en esa línea. Para ello se ha realizado una revisión bibliográfica tratando de describir y caracterizar la isla de calor (3. *La Isla de Calor –Urban Heat Island-*), con el objeto de conocer los principales factores urbanos que inciden en su tamaño e intensidad (4. *Factores urbanos que influyen en el tamaño y la intensidad de la isla de calor*). Fruto de dicha revisión se ha observado que los corredores fluviales urbanos se presentan como un elemento con un gran potencial para ayudar a mitigar la isla de calor (5. *Corredores fluviales urbanos e isla de calor urbana*). Además, se ha tratado de generar una serie de criterios para la planificación y el diseño de los corredores urbanos con la intención de ayudar a mitigar la isla de calor. Tal y como se ha comentado a lo largo del artículo, se trata de una propuesta teórica apoyada en los resultados de otros trabajos de investigación donde se han analizado cada uno de los factores pormenorizadamente (*forma urbana, zonas ajardinadas, superficie de agua, etc.*). En este sentido, los resultados tratan simplemente de ayudar a planificadores y diseñadores de los corredores fluviales urbanos en la elaboración de sus propuestas, aportando información sobre las posibilidades que ofrecen estos espacios para combatir este fenómeno.

Finalmente, este trabajo queda abierto a futuras investigaciones donde se debe poner de manifiesto el verdadero poder mitigador de cada uno de los criterios propuestos, de tal forma que se cuantifiquen su capacidad de respuesta en diferentes situaciones. Aspecto este último que ayudaría a hacer más acertadas las actuaciones urbanísticas e incluso para la generación de pautas o patrones de actuación en el desarrollo de Planes Generales de Ordenación Urbanística, Planes Especiales o cualquier otro tipo de figura de planificación.

AGRADECIMIENTOS:

La presente comunicación ha sido realizada bajo la financiación de la Junta de Andalucía y fondos FEDER para el Proyecto de Excelencia (RNM-1514): “INSTRUMENTOS PARA LA VALORACIÓN DE ESCENARIOS URBANOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. Diseño de un software para la evaluación ambiental –MITIGA–”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCHAPAR, N. L., CORREA, E. N., & CANTÓN, M. A. (2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construido*, 12(3), 107-123.

ALONSO, M., SALAZAR, J. L., & FIDALGO, M. (2003). "Characteristics of the urban heat island in the city of Salamanca, Spain". *Atmósfera*, 137–148. Retrieved from <http://132.247.146.34/index.php/atm/article/view/8514>

ARNFIELD, A. J. (2003). "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island". *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. doi:10.1002/joc.859

BALLESTER, F. et al. (2003). "Relación a corto plazo de la contaminación atmosférica y la mortalidad en 13 ciudades españolas". *Medicina Clínica*, 121(18), 684–689. doi:10.1157/13054596

BELLO, V. (1995). La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares. *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 15, 119–130. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=86409&orden=1&info=link>

CARRERAS, C., & MARIN, M. (1990). "Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona". *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 17, 51–77. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/pub/dag/02121573n17p51.pdf>

CUADRAT, J. M., VICENTE-SERRANO, S., & SAZ, M. (2005). "Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus factores condicionantes". *Boletín de la Asociación de Geógrafos (AGE)*, 40, 311–327.

CUADRAT, J.M. et al. (1993). "Ciudad y Medio Ambiente: La Isla de Calor de Teruel". *Geographica*, 30, 113-123. Retrieved from <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=276380>

ELSAYED, I. S. M. (2012). "Mitigation of the Urban Heat Island of the City of Kuala Lumpur , Malaysia". *Middle-East Journal of Scientific Research*, 11 (11), 1602–1613. doi:10.5829/idosi.mejsr.2012.11.11.1590

GARTLAND, L. (2008). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Earthscan. London, UK.

- HATHWAY, E. & SHARPLES, S. (2012). "The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study". *Building and Environment*, 58, 14–22. doi:10.1016/j.buildenv.2012.06.013
- MANLEY, G. (1958). "On the frequency of snowfall in metropolitan England". *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 84, pp. 70-72.
- MARTÍNEZ, F. et al (2004). "Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad". *Gac Sanic*, 18 (Supl 1), 250–258.
- MIRÓN, I. J. et al. (2007). "Evolución de los efectos de las temperaturas máximas sobre la mortalidad por causas orgánicas en Castilla La Mancha de 1975 a 2003". *Rev. Esp. de Salud Pública*, 81, 375–385.
- MONTÁVEZ, J., RODRIGUEZ, A., & JIMÉNEZ, J. (2000). "A study of the urban heat island of Granada". *International Journal of Climatology*, 911, 899–911. Retrieved from <http://hera.ugr.es/doi/15001647.pdf>
- MORENO, C., JÁUREGUI, E., & TEJEDA, A. (2012). "Measurements of surface-atmosphere energy balance components in central Barcelona (Spain) during summer". *Boletín de la Asociación de Geógrafos (AGE)*, 60, 7–18.
- RUIZ-FLAÑO, P. R. (2008). "La isla de calor en Las Palmas de Gran Canaria: intensidad, distribución y factores condicionantes". *Boletín de la Asociación de Geógrafos (AGE)*, 47, 157–173. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3093433>
- SAILOR, D. J., & LU, L. (2004). "A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas". *Atmospheric Environment*, 38(17), 2737–2748. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.01.034
- SANTAMAOURIS, M. et al. (2001). "On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings". *Solar Energy*, 70(3), 201–216. doi:10.1016/S0038-092X(00)00095-5
- STREUTKER, D.R. (2003). *A Study of the Urban Heat Island of Houston, Texas*. Ph. D. thesis, Rice University, Houston, Texas.
- VOOGT, J. (2008). "Islas de Calor en Zonas Urbanas: ciudades más calientes. *American Institute of Biological Sciences*. <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>

ZHANG, J., & WANG, Y. (2008). Study of the Relationships between the Spatial Extent of Surface Urban Heat Islands and Urban Characteristic Factors Based on Landsat ETM+ Data. *Sensors*, 8(11), 7453–7468. doi:10.3390/s8117453