CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Estudio de la isla de calor urbana en el área metropolitana de Sevilla

Autor: Benito A De la Morena Carretero[1]

Institución: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

e-mail: morenacb@inta.es

Otros Autores: Jose A. Adame [1]; Cristóbal Carrillo[1]; Mariano Corzo[3]; Juan J. Guerrero[3]; Francisco Cáceres[2]

([1])Estación de Sondeos Atmosféricos "El Arenosillo", Área de Instrumentación e Investigación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Crta. Huelva-Matalascañas, km 34. 21130, Mazagón-Huelva, España.

([2])Dirección General de Desarrollo Sostenible e Información Ambiental. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Avda. Manuel Siurot, 50. 41013, Sevilla, España.

([3])Red de Información Ambiental de Andalucía, Departamento de Comunicación y Sistemas de Información, Empresa de Gestión Medioambiental (EGMASA). c/ Johan G. Gutenberg, 1. 41092, Sevilla, España

RESUMEN

Las islas de calor son un fenómeno de origen térmico que se desarrolla en las áreas urbanas causado por las diferencias de temperatura existentes entre el centro de la ciudad y la de sus alrededores. El interior de las ciudades presenta una mayor capacidad para almacenar calor (edificios, pavimentos, carreteras) que la que se tiene en el exterior (zonas residenciales con menor densidad urbana, parques con vegetación, etc.). La ocurrencia de islas de calor urbanas, sobre todo en los meses de primavera y verano tiene una serie de consecuencias como son el incremento en la demanda de energía, debido al uso de los sistemas de aire acondicionado, incremento de la contaminación atmosférica o mayores emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la formación, ocurrencia e intensidad de las islas de calor son un fenómeno muy sensible a las modificaciones climáticas, puesto que un incremento de las temperaturas pudiera llevar a un aumento del número e intensidad de islas de calor urbana.

El valle del Guadalquivir es una de las regiones de la Península Ibérica donde se registran las mayores temperaturas tanto extremas como medias. En el tramo medio del valle se encuentra el área metropolitana de Sevilla, con más de un millón de habitantes, donde se desarrollan fenómenos atmosféricos de carácter local como la isla de calor. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del estudio que se está realizando para la identificación, ocurrencia y extensión de la isla de calor en el área metropolitana de Sevilla. El estudio se está desarrollando con ayuda de los registros meteorológicos de diversas estaciones ubicadas en la zona y la aplicación de sistemas de información geográfica. Los resultados obtenidos servirán para conocer las variables urbanas que más afectan a este fenómeno, como se integra el clima urbano en el sistema climático regional y realizar una serie de propuestas de mejoras del planeamiento urbano en función del clima.

1. Introducción

Al construir las ciudades los hombres, sin proponérselo, han producido células de condiciones climáticas diferentes de las que existen en el medio rural (Fernández et al., 1998). Estas alteraciones microclimáticas quedan integradas dentro del espectro total de los cambios ecológicos resultantes del crecimiento de las sociedades urbano-industriales característico de nuestro tiempo.

La temperatura es uno de los elementos más importantes para determinar los cambios urbanos en el clima (Djen et al., 1994). Cuando se produce una modificación en la cubierta terrestre, automáticamente se introducen alteraciones en la temperatura del aire al actuar sobre el balance energético. En las ciudades este aporte de energía suplementario provoca un aumento de calor y un contraste térmico entre el centro y la periferia conocido como isla de calor o isla térmica.

Han sido y son actualmente numerosos los estudios que sobre este fenómeno se están desarrollando tanto en grandes ciudades (López et al., 1995; Sayito et al., 1996; Moreno-García, 2006) como en ciudades medianas (Kysik y Fortuniak, 1999; Tso, 1999; Soler y Potcher, 2005).

Muchas áreas urbanas y suburbanas presentan temperaturas más elevadas que aquellas zonas rurales adyacentes, esta diferencia de temperatura es lo que se conoce por isla de calor urbano. La media anual de la temperatura de una ciudad de un millón de habitantes puede ser de 1 a 3 ºC más altas que las que se registrarían en sus alrededores, pero en una noche clara, con vientos en calmas esta diferencia de temperatura puede alcanzar los 12 ºC. Incluso ciudades más pequeñas pueden experimentar estos fenómenos (Domínguez, 2002), aunque este efecto es proporcional al tamaño de la ciudad.

Se pueden encontrar dos tipos de islas de calor urbano: las superficiales (“surface urban heat island”) y las atmosféricas (“atmospheric urban heat island”). Estos dos tipos de islas de calor difieren básicamente en la forma en la que se forman, así como en las técnicas usadas para identificarlas y medirlas, sus impactos y métodos disponibles para mitigarlas son distintos.

En las islas de calor urbano se pueden identificar dos zonas:

i. Capa superficial de la isla de calor urbano. Es la capa de aire que encuentra donde la gente vive, desde el suelo hasta la cima de los árboles o edificios.

ii. Capa límite de la isla de calor urbano. Comienza en la parte alta de los edificios o las copas de los árboles hasta aquélla zona de la atmósfera que no se ve influenciada por los cambios térmicos de la ciudad. Esta capa no tiene una extensión mayor de 1.5 km desde la superficie.

La capa superficial de la isla de calor urbano atmosférica es la que comúnmente se observa con mayor facilidad, de los dos tipos enunciados, y por esta razón cuando se hace mención a la isla de calor urbano nos referimos directamente a esta capa. La isla de calor urbano atmosférico es más débil a primeras horas de la mañana y resto del día y comienza a ser más pronunciada después de la puesta de sol, debido a que la pérdida de calor de las infraestructuras urbanas es más lenta que las de las áreas rurales.

La mayor intensidad de este fenómeno dependerá de las propiedades de las superficies que conforman la ciudad, de la estación del año y de las condiciones meteorológicas. Muchos factores pueden contribuir a la formación de las islas de calor urbano, pero los más relevantes serían: la reducción de la cubierta vegetal, las propiedades de los materiales urbanos, la geometría urbana, las fuentes de calor con origen antropogénico y otros factores adicionales. A continuación se van comentar brevemente algunos de ellos.

Reducción de la vegetación en zonas urbanas. En áreas rurales, la vegetación es la principal característica que presenta su paisaje, tanto los árboles como el resto de vegetación proporciona una cubierta que ayuda a un menor calentamiento de las zonas superficiales. A este efecto de sombra también hay que añadir que ayudan a la reducción de la temperatura del aire a través de los procesos conocidos como de evapo transpiración, en los cuales las plantas emiten agua al aire que las rodea disipando el calor ambiental. Por el contrario, las zonas urbanas se caracterizan por presentar escasa vegetación, y su superficie está formada por calles, pavimentos, carreteras, parkings, centros comerciales etc. Las zonas de sombra son menores y las superficies expuestas a la radiación solar son mayores, además en una ciudad se evapora menos cantidad de agua, lo cual contribuye a que se tengan unas mayores temperaturas en el aire.

Propiedades de los materiales urbanos. Los materiales urbanos presentan una serie de propiedades que contribuyen de forma positiva a la formación de la isla de calor urbano. Las propiedades a las que hay que atender son: la capacidad que tienen para reflejar la radiación solar, conocida como albedo, la emisividad térmica y la capacidad calorífica. Conociendo estas características se puede determinar cuanta energía procedente del sol es reflejada, emitida y absorbida en una ciudad.

Geometría urbana. Otro factor que influye en la formación de la isla de calor urbano, particularmente de noche, es la geometría que presenta la ciudad, la cual se refiere tanto a las dimensiones como al espacio ocupado por las edificaciones en el interior de la ciudad. La geometría urbana afecta a los regímenes de viento, la absorción de energía y la capacidad que tienen las superficies para emitir radiación infrarroja. En urbes muy densamente pobladas y con numerosas edificaciones, la superficie de las estructuras que conforman la ciudad está muy cercanas unas a otras y obstaculizan la emisión del calor y posterior disipación de forma óptima (Kolotroni et al., 2007). De noche este fenómeno se ve acentuado, debido a ello el aire ubicado en la parte baja del centro de la ciudad está a mayor temperatura que el que se encuentra en las zonas rurales adyacentes.

Fuentes de calor con un origen antropogénico. Otro aspecto a considerar en la formación de las islas de calor urbano atmosféricas es el debido a los focos de calor con un origen en las actividades humanas. Las posibles fuentes de calor pueden ser muy variables, desde el uso de energía para el calentamiento y el enfriamiento, al transporte, los procesos industriales, etc.

La formación y desarrollo de las islas de calor en las ciudades tiene una serie de implicaciones sociales y ambientales muy directas, como pueden ser el incremento del consumo de energía, la disminución de la calidad del aire y el incremento de la emisión de gases de efecto invernadero o del deterioro en la calidad del agua.

Consumo de energía. Las elevadas temperaturas que se registran durante el verano en las ciudades tienen como consecuencia una mayor demanda de energía para el uso de sistemas de aire acondicionado. Así, se pueden tener picos de consumo energético en días laborables del verano, al mediodía, cuando en las oficinas y los hogares están simultáneamente funcionando tantos los sistemas de aire acondicionados como otros electrodomésticos.

Calidad del aire y gases de efecto invernadero. Como se ha comentando anteriormente el incremento de la temperatura lleva a un incremento en el consumo de energía, el cual a su vez origina un incremento de los niveles de contaminación atmosférica y emisiones de gases de e efecto invernadero (Taha, 2008).

Influencia en la salud humana. El incremento diurno de la temperatura, la reducción del enfriamiento nocturno y un mayor nivel de contaminación atmosférica, asociado todo ello a la formación de las islas de calor urbano puede tener efector muy perjudiciales en la salud humana. Síntomas típicos son la aparición de dificultades respiratorias, ocurrencia de infartos y en definitiva un aumento de la mortalidad asociada directamente al calor. Las islas de calor urbano pueden incrementar los efectos que tienen las “olas de calor”, los cuales pueden considerarse como períodos con temperaturas anormalmente altas. La población sensible, como niños, ancianos y aquellas personas con problemas de salud pueden estar en riesgo bajo estas condiciones.

Calidad del agua. Las islas de calor superficial hacen aumentar la temperatura del agua que va por las canalizaciones, debido a esta contaminación térmica la calidad del agua disminuye. El asfalto y las terrazas de los edificios pueden alcanzar temperaturas entre 27 a 50 ℃ más elevadas que las que se registren en al aire.

En el sur de Europa, como es bien sabido, se tienen unas condiciones meteorológicas que la hacen idónea para el desarrollo de este tipo de fenómenos térmicos como las islas de calor urbano, como son altos niveles de temperatura y radiación solar asociadas a situaciones anticiclónicas. Sin embargo, son muy escasos o nulos los estudios llevados en estas regiones para identificar y conocer la intensidad de este fenómeno.

En el año 2008, personal de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (CMAJA) decide realizar un trabajo de investigación para evaluar el fenómeno de isla de calor en Andalucía y se selecciona el área metropolitana de Sevilla como el área de estudio debido a dos factores, las condiciones meteorológicas y orográficas que presenta, y por ser la urbe más poblada de Andalucía.

A finales del mismo año 2008 comienza a desarrollarse este proyecto de investigación, el cual lo lleva a cabo personal de la Estación de Sondeos Atmosféricos (ESAt) – El Arenosillo perteneciente al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), trabajando estrechamente con el personal de la CMAJA.

El trabajo que se presenta en este documento está, por tanto, enmarcado dentro del proyecto de investigación mencionado y titulado “Estudio de la Climatología e isla de calor urbana de Sevilla”. Para el desarrollo del mismo se propone una metodología general de trabajo.

Debido a que el fenómeno que se va a estudiar tiene un claro origen meteorológico, se necesita de información meteorológica para poder llevarlo a cabo, por ello la primera etapa del proyecto se dedica a analizar las bases de datos disponibles, conocer cuales serían las más fiables e identificar aquellas estaciones meteorológicas que se pudieran utilizar en el estudio. La segunda etapa consistió en realizar un estudio espacio-temporal de las variables meteorológicas, así como conocer la ocurrencia e intensidad del fenómeno de isla térmica urbana en función de los escenarios meteorológicos. Por último, se han utilizado sistemas de información geográfica para obtener una visión espacial de la distribución de temperaturas en el área de Sevilla.

En este documento se recogen algunos de los aspectos abordados en el proyecto, así como, algunos de sus resultados. De esta forma en la sección 2 se presentan las características más relevantes del área de estudio y de las bases de datos utilizadas. La sección 3 se dedica a los resultados. En ella se comienza con una exposición de los ciclos mensuales y diarios de la temperatura y humedad relativa. A continuación se presenta el criterio para la identificación de este fenómeno, así como para conocer la ocurrencia e intensidad del mismo. Por último, se presentan los mapas que se han obtenido de la distribución de temperaturas utilizando como herramienta los sistemas de información geográfica.

2. Área de estudio y bases de datos.

2.1. Descripción del área de estudio.

El área metropolitana de Sevilla (en adelante AMS) se encuentra situada en el marco situado entre los puntos (216524,4 : 4162901,7) y el (256697,2 : 4120890,1) coordenadas UTM, al sudoeste de la Península Ibérica. Los municipios englobados en esta área y objetos de estudio son 8 (Sanlúcar la Mayor, Puebla del Río, Mairena del Aljarafe, Dos Hermanas, Los Palacios, Sevilla, Guillena y La Rinconada), todos ellos en un radio menor de 30 kilómetros (Fig. 1).

La ciudad de Sevilla se encuentra a unos 100 kilómetros de la costa atlántica, en el interior del valle del Guadalquivir, cuya dársena divide la ciudad en dos partes. Sevilla presenta una superficie urbana construida de unas 4000 hectáreas a las que habría que sumar la superficie de carreteras y circunvalaciones externas al núcleo. Las ciudades dormitorios satelitales a ésta se encuentran claramente divididas en dos grupos según su localización geográfica, un primer grupo situadas desde el oeste hasta la falla de Castilleja de la Cuesta y otro grupo al sur comprendiendo desde el mismo límite de la ciudad limítrofe con Dos Hermanas hacia el sur.

La ciudad no presenta una topografía destacable, predominando las superficies llanas. Sevilla se encuentra franqueada por dos cornisas elevadas a este y oeste, que constituyen los bordes superiores de las terrazas del río Guadalquivir: El Aljarafe y Los Alcores. Las áreas que rodean la ciudad son de carácter eminentemente agrícola, con extensas áreas cultivadas, tanto de secano como de regadío.

Figura 1. Municipios considerados en el estudio de isla de calor en el área metropolitana de Sevilla.

La ciudad está sometida a la influencia de los centros de bajas y altas presiones que se forman y evolucionan desde el océano Atlántico, así como por los sistemas y perturbaciones procedentes del Mediterráneo. A la región de estudio llegan masas de aire de diferentes características, marítimas, continentales, desérticas, etc (Hernández et al., 2010). Este conjunto de factores hace que se tenga en la zona de estudio un clima con unas características típicamente mediterráneas.

El clima urbano también se ve condicionado por la situación de la ciudad en el interior del valle del Guadalquivir, lo que determina mayores contrastes térmicos y un régimen de precipitaciones algo más frecuente que en el resto de la región.

La ciudad de Sevilla es el núcleo más importante de la mayor aglomeración urbana del sur de la Península Ibérica. Esta aglomeración reúne a unos 1,5 millones de personas y conforma un importante núcleo industrial y de servicios.

Algunas de las ciudades del área metropolitana son ciudades dormitorio en torno a la ciudad de Sevilla. El desarrollo de esta área metropolitana comienza a mediados de la década de los 70 y principio de los 80, pero el gran auge urbanístico se da en los 90 y continúa hasta nuestros días, días en los que el área metropolitana de Sevilla no deja de crecer, en población y extensión, destacando entre la ciudades dormitorio, el gran dinamismo empresarial e industrial de Alcalá de Guadaira, Mairena del Aljarafe, o los ejes Dos Hermanas-Los Palacios y Villafranca-Utrera.

Seguidamente se va mostrar la demografía que se tiene en el área de estudio, la cual está relacionada con la ocurrencia del fenómeno de isla térmica urbana. En la Fig. 2 se muestra la demografía existente en la zona de estudio. Se pueden distinguir cuatro principales zonas según los puntos cardinales:

- ✓ Norte. Compuesta por los municipios de La Rinconada, La Algaba, Alcalá del Río y Brenes. Es la zona con menor desarrollo urbanístico. Tiene una población de 68.438 habitantes. Los planes urbanísticos pronostican un fuerte desarrollo demográfico y urbanístico en esta zona.

- ✓ Sur. Formado por el eje Dos Hermanas-Los Palacios y Villafranca-Utrera, que tiene 206.350 habitantes. Dos Hermanas es una ciudad de 120.000 habitantes, cuenta con múltiples urbanizaciones y núcleos residenciales aislados del propio núcleo de Dos Hermanas (Montequinto, Condequinto, Olivar de Quinto, Los Quintos), y que están más próximos a Sevilla. Actualmente hay un proyecto urbanístico de gran envergadura llamado "Entrenúcleos" que unirá Los Quintos con Dos Hermanas. Los Palacios y Villafranca, con 36.350 habitantes, y por último Utrera con poco más de 50.000 habitantes.

- ✓ Oeste. El Aljarafe, una sucesión de pequeños municipios formando una conurbación donde los límites entre municipios no son claros. La población de cada uno de ellos es de aproximadamente entre 20.000 a 30.000 habitantes y que en su conjunto reúnen 339.062 habitantes. Los municipios más habitados y representativos de esta comarca son Mairena del Aljarafe, Tomares, Camas, San Juan de Aznalfarache, Bormujos, Espartinas, Gines, Coria del Río y Sanlúcar la Mayor.

- ✓ Este. La comarca de Los Alcores, compuesta por los municipios de Alcalá de Guadaira, Carmona, Mairena del Alcor y El Viso del Alcor, que juntos poseen una población de 128.418 habitantes.

A estas cuatro zonas hay que sumarles la propia ciudad de Sevilla con algo menos de 700.000 habitantes. El área cubierta por todos estos municipios es de 4.535,78 km² para una población de 1.499.673 de habitantes, lo cual indica una densidad de población de 330,63 hab/km² (Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía, 2006).

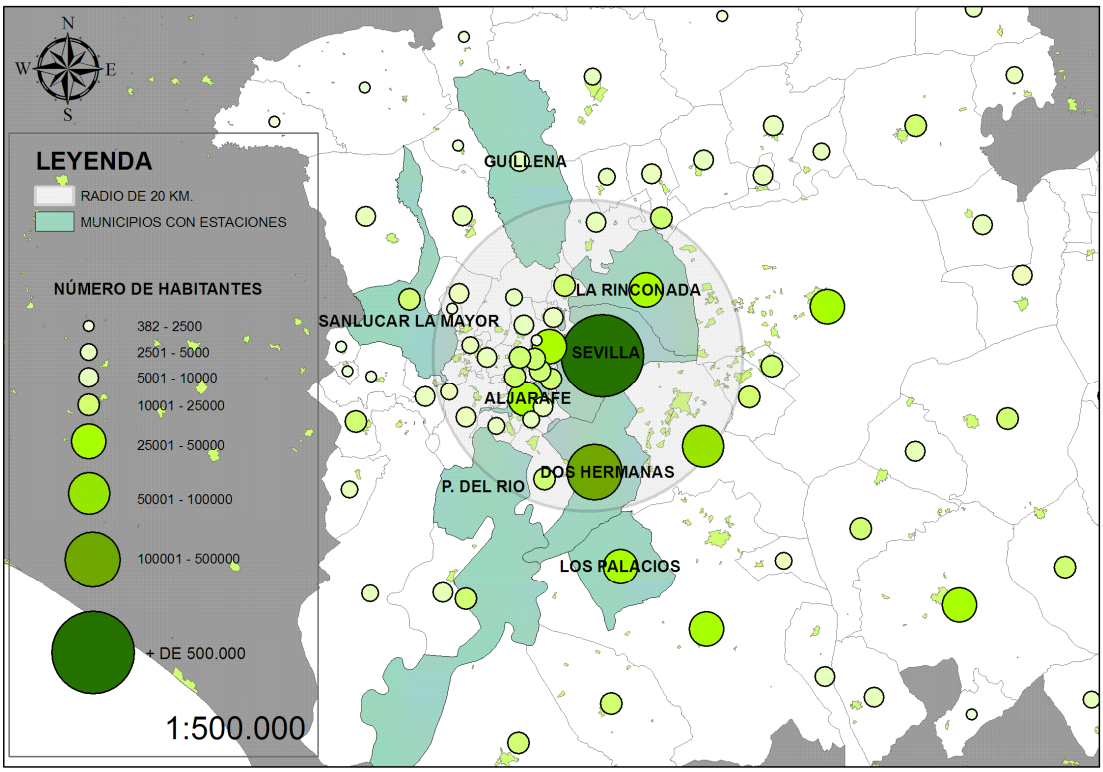


Figura 2. Demografía en los municipios que conforman el área metropolitana de Sevilla.

2.2. Base de datos y período de datos.

La CMAJA posee el Subistema de Información CLIMA (www.juntadeandalucia.es/medioambiente), en el cual se engloban los datos meteorológicos que se miden en Andalucía por diferentes instituciones. Utilizando esta base de datos y la información que está disponible en ella se ha realizado el presente trabajo.

Son varios los organismos que tienen redes de observación meteorológica en Andalucía y que son recogidas en CLIMA, entre ellas podríamos destacar la red de estaciones automáticas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la Red Información Agraria (RIA) de la Consejería de Agricultura y Pesca, la red de Seguimiento y Vigilancia de la Calidad del Aire de la CMJA o la red INFOCA de este mismo organismo.

Inicialmente se decidió utilizar las observaciones registradas por la red automática de estaciones meteorológicas de AEMET, las estaciones de la Red de Información Agraria (RIA) y las medidas de la red de Calidad del Aire de la CMAJA. Se seleccionaron estas tres redes por dos factores, la disponibilidad de información con una resolución de 10 o 30 minutos y la ubicación geográfica de las estaciones que la forman.

El área de estudio es el área de metropolitana de Sevilla, por tanto se seleccionaron estaciones de las mencionadas redes que estuvieran en esta zona. Delimitándose una región de unos 30 km alrededor del centro de la ciudad, como se puede observar en la Fig. 3.

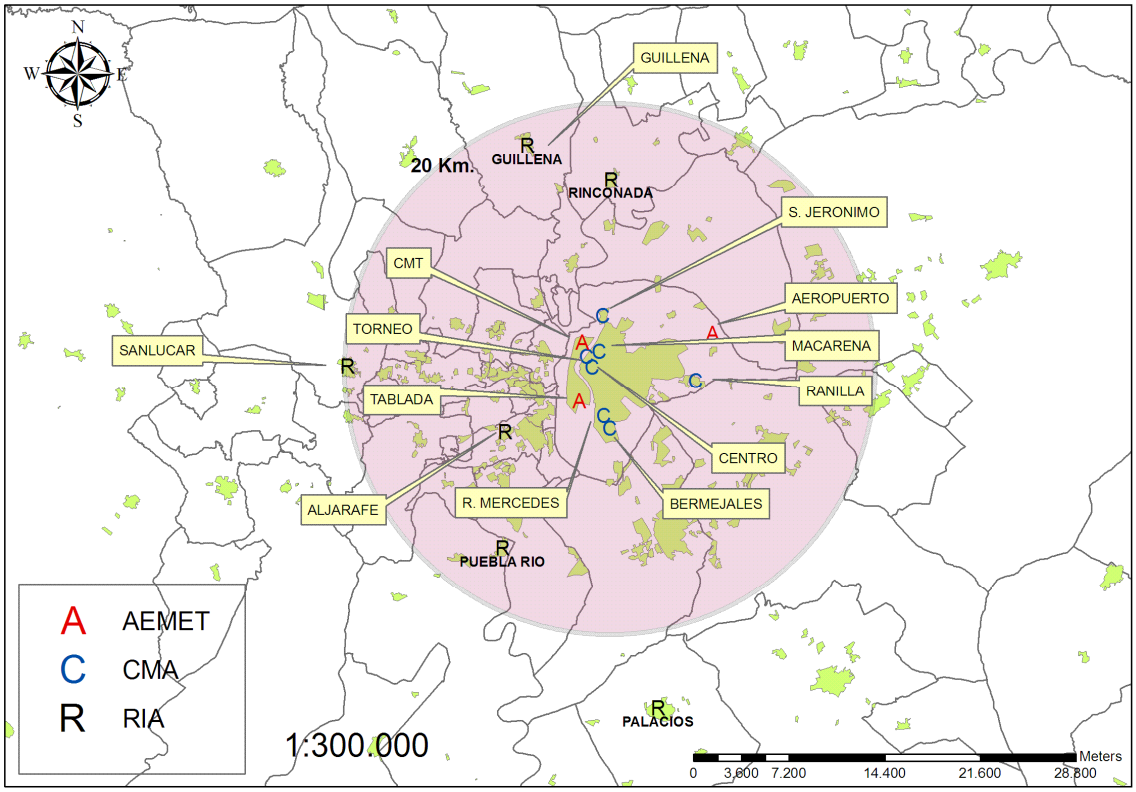


Figura 3. Estaciones meteorológicas que se han considerado inicialmente.

El fenómeno de isla térmica urbana, como su propio nombre indica, es un proceso de origen térmico, por tanto, la primera variable a analizar sería la temperatura. Junto con ella también se ha considerado de interés estudiar otras variables como la humedad relativa, el viento y la precipitación que bien no serían las que originan el fenómeno pero sí pueden verse afectadas por el desarrollo del mismo.

En una primera fase se seleccionaron y utilizaron la información de 17 estaciones. Se eligió como referencia el año 1996 y se descargaron los datos desde este año hasta el 2008. Las observaciones meteorológicas presentan diferentes resoluciones temporales cada 10, 30 y 60 minutos. Con objeto de homogenizar toda la serie de datos se han utilizado para el estudio los datos horarios.

Después de realizar un trabajo de análisis de los valores de temperatura y humedad relativa, se decidió utilizar en el estudio únicamente 10 estaciones. Las causas que llevaron a la eliminación de seis estaciones fueron principalmente las anomalías que presentaban sus valores. Los emplazamientos utilizados son los siguientes: Guillena (RIA), Los Palacios (RIA), Puebla del Río (RIA), Rinconada (RIA), Sanlúcar (RIA), Torneo (CMAJA), Centro (CMAJA), Bermejales (CMAJA), Tablada (AEMET) y Aeropuerto (AEMET). Además, se optó por utilizar como periodo de datos válido para el estudio de la isla de calor en el área de Sevilla el comprendido entre 2002 y 2008.

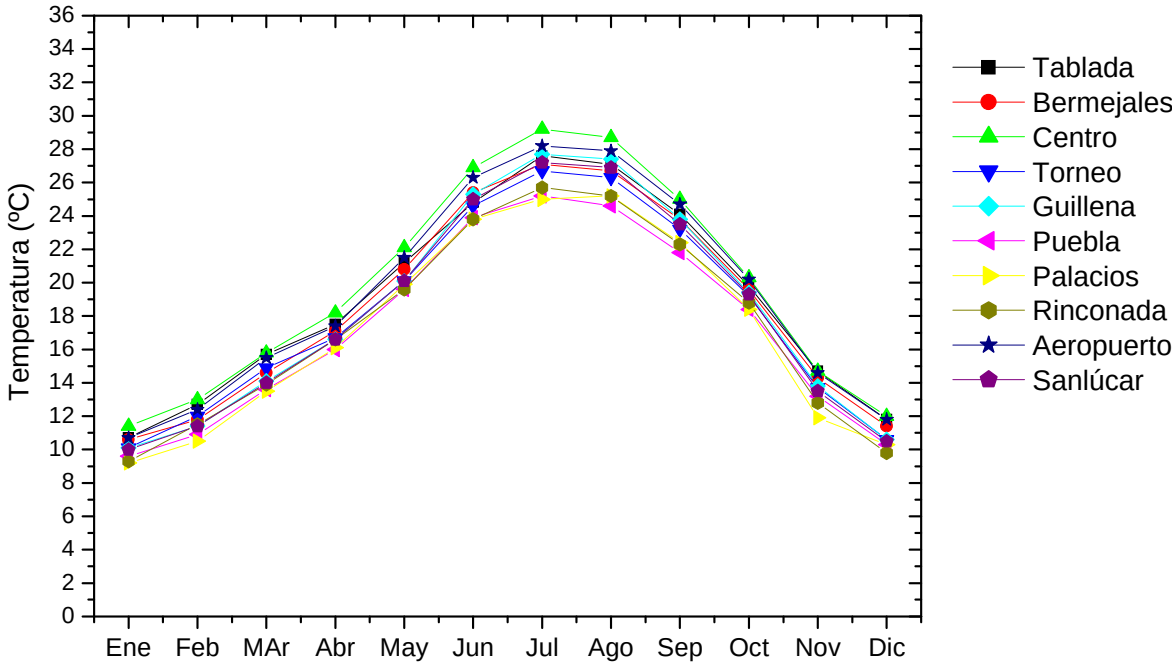
3. Resultados.

3.1. Evolución de la temperatura y la humedad relativa.

La Fig. 4 muestra la evolución mensual de temperatura y humedad relativa en los 10 emplazamientos seleccionados. Respecto a las medias mensuales de temperatura, se obtienen los valores mínimos en diciembre con valores comprendidos entre los 9 y los 12 ºC. Por el contrario, los máximos se detectan en los meses de julio y agosto con valores entre los 25 y los 29 ºC. El caso opuesto se tiene para los valores de humedad relativa. Los máximos se detectan en diciembre y enero con medias mensuales comprendidos entre los 75 y 79 %. El máximo de temperatura coincide con el mínimo de humedad relativa, se miden los valores más pequeños en julio con valores comprendidos entre 45 y 61 %.

En general los valores de temperatura son más homogéneos, mientras que los de humedad relativa presentan una mayor variabilidad. De los registros mensuales de temperatura se puede indicar que los más bajos se localizan en enclaves suburbanos: Los Palacios, Rinconada y Puebla del Río, mientras que las mayores temperaturas se tienen en la zona urbana, en estaciones como Centro.

Como ya se ha mencionado, la humedad relativa presenta una mayor variabilidad. De esta forma se pueden identificar dos comportamientos distintos. El primero de ellos estaría formado por las estaciones de Aeropuerto y Guillena con un descenso muy brusco de la humedad en los meses de verano y valores en invierno muy elevados. El segundo grupo estaría formado por enclaves con un comportamiento típico de la humedad relativa. En ellos la humedad relativa media puede variar a lo largo del año un 30%.



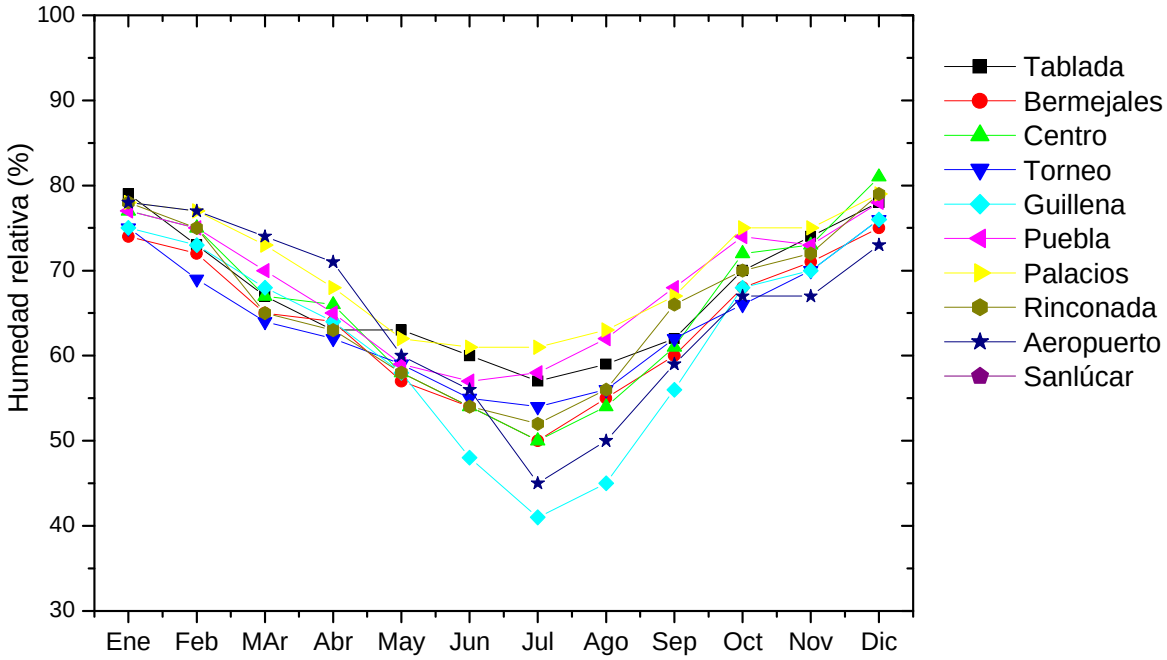


Fig. 4. Evolución mensual de la temperatura y la humedad relativa en las 10 estaciones.

La evolución de las variaciones diarias de la temperatura y la humedad relativa se presenta en dos períodos del año, considerados como frío y cálido, lo cual pudiera considerarse como un invierno y un verano extendidos respectivamente. Se ha considerado el período frío desde octubre hasta mayo, mientras que el período cálido se considera desde junio hasta septiembre. Las variaciones diarias de ambos parámetros y períodos se muestran en la Fig. 5.

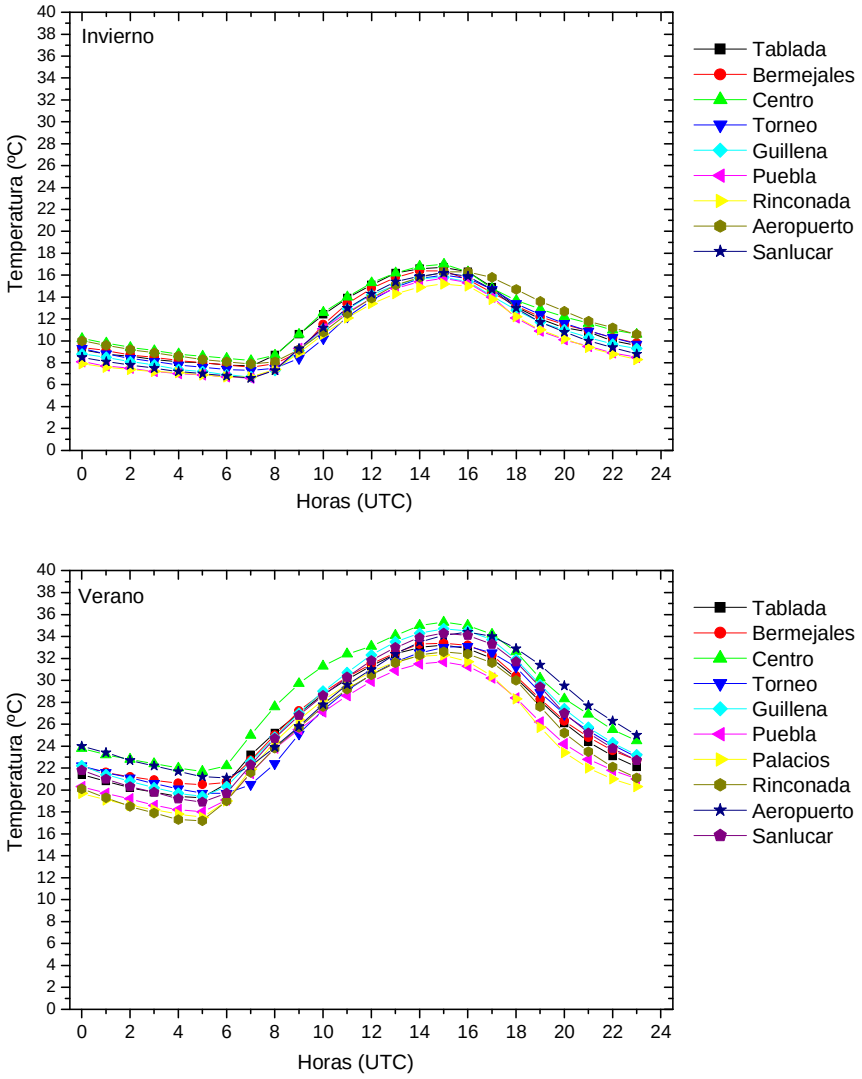


Fig. 5. Evolución diaria de la temperatura y la humedad relativa durante la estación fría y cálida. 2003-2008.

Durante el invierno se tienen valores de temperatura nocturnos entre los 7 y los 11 ºC con un mínimo a las 7:00 UTC. A esta misma hora se produce el máximo de humedad relativa con valores comprendidos entre los 75 y 90 %. Se encuentran durante la noche diferencias de temperatura entre estaciones de 2 – 3 ºC mientras que en el caso de la humedad se llegan a tener diferencias de un 15 %.

Lo más destacable del régimen diurno durante los meses invernales es el máximo que se produce a las 15:00 UTC, con valores de temperatura que oscilan entre los 14 y los 17 ºC, diferencias de 2 a 3 ºC. En cuanto a la humedad, a esta misma hora se produce el mínimo diario con valores entre el 45 y el 60%, diferencias por tanto del 15%

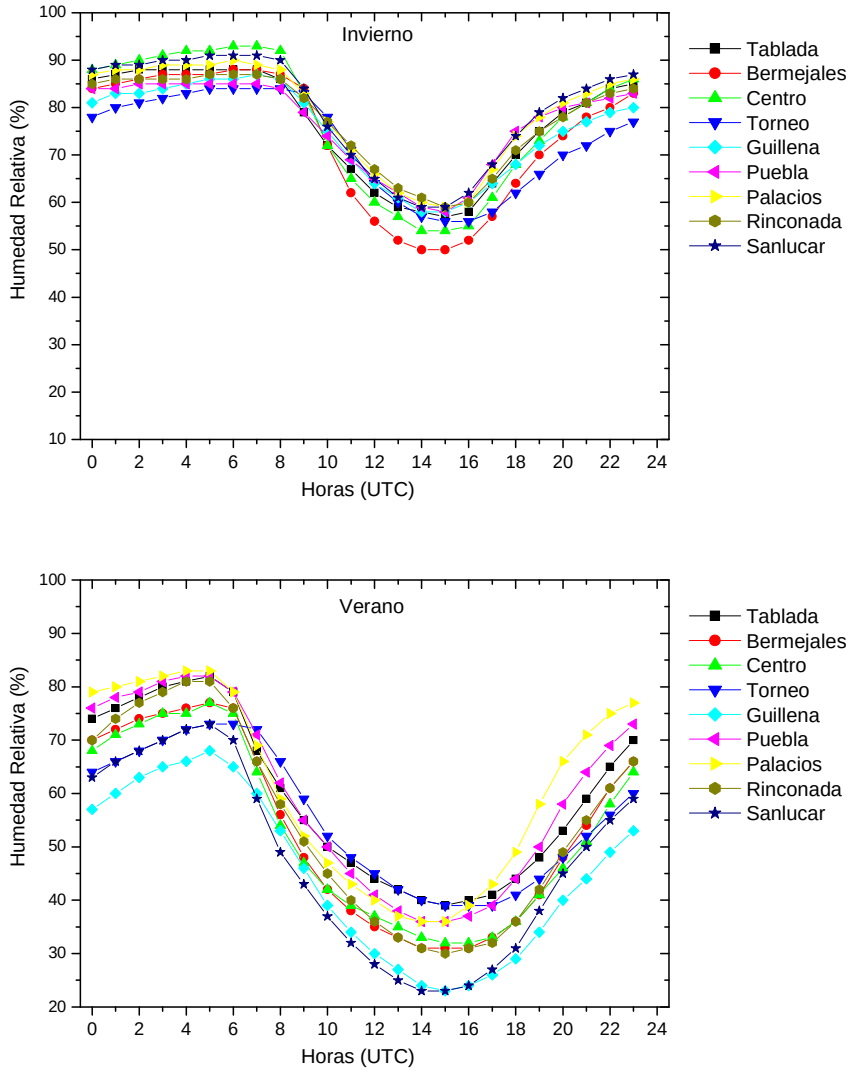


Fig. 5 (continuación). Evolución diaria de la temperatura y la humedad relativa durante la estación fría y cálida. 2003-2008.

Así mismo, se puede observar como Puebla, Sanlúcar y los Palacios, estaciones pertenecientes a las zonas más alejadas la ciudad, presentan valores mensuales de temperatura menores al resto, los cuales aumentan en aquellas estaciones ubicada en la ciudad como es el caso de la estación de Centro.

Durante la noche se tienen valores de temperatura entre los 18 y los 24 ºC, con un mínimo a las 5:00 UTC con valores entre los 18 y los 21 ºC, diferencias de tan solo 2 a 3 ºC. A esta misma hora se tiene el máximo de humedad relativa con valores entre los 65 y 75 %, diferencias de 15%.

El día se caracteriza por un incremento de la temperatura y un descenso acusado de la humedad relativa hasta las 15:00 UTC. A esa hora se tienen temperaturas que oscilan entre los 31 a 34 ºC, diferencias de 2 a 3 ºC, y valores de humedad de 28 a 40 %, diferencias en este caso del 12 %.

En verano los valores de temperatura de Rinconada, Puebla y los Palacios, estaciones pertenecientes a grupos suburbanos, muestran valores menores a los que se tienen en emplazamientos urbanos. Respecto a la humedad, las estaciones menos urbanas y que tienen el río Guadalquivir cerca, (Puebla o los Palacios) presentan claramente una humedad relativa superior a otras estaciones.

En general, se puede indicar que las diferencias medias en las temperaturas tanto en verano como en invierno estaría en unos 2 a 3 ºC, y las diferencias en cuanto a los valores de humedad estarían en 12 al 15%, teniéndose en cuenta que son valores horarios diarios promediados durante los meses de invierno y de verano.

3.2. Identificación y ocurrencia de la isla de calor urbana en Sevilla.

Se muestra en este espartado el estudio que se ha realizado para identificar el fenómeno objeto de estudio. Puesto que la isla de calor es de origen térmico, se ha considerado que la mejor forma para poder identificarlo es a través de las variaciones de temperatura que se experimenta entre diferentes puntos de la zona urbana y de las áreas periféricas o rurales.

Como se ha mencionado en la introducción este fenómeno se presenta con mayor intensidad durante la noche, es decir el contraste de temperatura entre el interior de la ciudad y las zonas adyacentes será máximo en el período nocturno. Por ello, se ha considerado que para identificar este fenómeno se utilice la diferencia de los valores mínimos diarios. Pero al tener diez estaciones de medidas, la cuestión que se plantea es con cuáles de éstas estaciones se identifica el fenómeno. De los resultados que se han obtenido, sobre la variación mensual y diaria de las temperaturas, expuesta en el subapartado anterior, se propuso utilizar las estaciones de Centro, ubicada en el centro de la ciudad, y Puebla del Río, ubicada en una zona rural. De esta forma se considera que se tiene desarrollo de isla térmica urbana en el área metropolitana de Sevilla si las diferencias de los valores mínimos diarios de temperatura entre los dos mencionados emplazamientos (Centro menos Puebla) es positivo.

Una vez identificados los días en los que se tiene ocurrencia del fenómeno, el siguiente aspecto que se aborda es conocer cuál su intensidad. Para ello se utilizó un criterio muy extendido (Fernández, 1996) por el cual no se tiene ocurrencia del fenómeno si la diferencia de temperatura es negativa, intensidad débil si la diferencia es hasta 2 ºC, moderada de 2 a 4 ºC, fuerte de 4 a 6 ºC y muy fuerte mayores que 6 ºC.

Aplicando los mencionados criterios tanto para la identificación como para el conocimiento del tipo de intensidad, se ha podido conocer la ocurrencia del fenómeno de forma anual y mensual. Los resultados anuales se muestran en la Tabla 1.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
N	48	365	358	357	363	354	362
NO	0,0	0,0	2,0	6,7	6,9	0,8	2,5
Débil	27,1	7,9	14,0	38,1	46,6	30,2	29,3
Moderada	54,2	36,7	41,3	37,0	38,6	55,4	46,4
Fuerte	18,8	40,3	39,1	17,6	7,2	12,1	19,3
Muy fuerte	0,0	15,1	3,6	0,6	0,8	1,4	2,5

Tabla 1. Número de días y porcentaje de ocurrencia anual según el tipo de intensidad.

Este fenómeno se produce con gran frecuencia en el área metropolitana de Sevilla, incluso en algunos años se produce todos los días. De los siete años considerados, en cinco de ellos, se tuvieron días en los que no se produjo el desarrollo de la isla de calor, pero con frecuencias de ocurrencia muy bajas, siempre menores de un 7%.

La ocurrencia de la isla de calor con intensidad débil se produce en Sevilla con una frecuencia que varía con el año, obteniéndose un rango desde el 7.9% en 2003 hasta el 46.6 de 2006, con un valor medio de un 28%. La intensidad moderada es la más frecuente de todas, con una media en el periodo de 2002 a 2008 del 44%. La ocurrencia de la isla de calor con diferencias de 4 a 6 ºC, es decir fuerte, presenta unos porcentajes que algunos años pueden estar por debajo de la intensidad débil y otros ser mayores; en valor medio de todo el período se obtiene una frecuencia del 22%. Por último, la ocurrencia de islas de calor muy fuerte oscila entre el 0.8 y el 15.1 % que se obtuvo en 2003. Los años 2003 y 2006 son los que registraron las islas de calor más intensas tanto las tipificadas como fuertes como las muy fuertes, siendo estos años también de altas temperaturas en el período estival. Por tanto, se puede observar como hay una asociación directa entre las “olas de calor” y la ocurrencia de islas de calor de gran intensidad.

La distribución mensual de la ocurrencia de cada uno de los tipos de isla de calor, en función de su intensidad se muestra en la Fig. 6. Se puede observar que mayoritariamente en los meses fríos es cuando no se producen islas de calor, aunque también se encuentran algunos casos en meses cálidos. La isla de calor con intensidad débil se puede encontrar cualquier mes del año pero presenta una ocurrencia mayor en los últimos meses del año.

Las islas de calor de intensidad moderada son las que con más frecuencia se producen a lo largo del año, siendo su frecuencia de ocurrencia muy homogénea, aproximadamente el 10%. Igualmente las islas de calor con intensidad fuerte se pueden desarrollar cualquier mes del año pero su frecuencia de ocurrencia se triplica en los meses cálidos respecto a los meses fríos. La intensidad muy fuerte se encuentra en los meses cálidos pero únicamente en algunos casos muy concretos, las mayores frecuencias se encuentran en los tres meses del periodo de julio a agosto con más de un 15%.

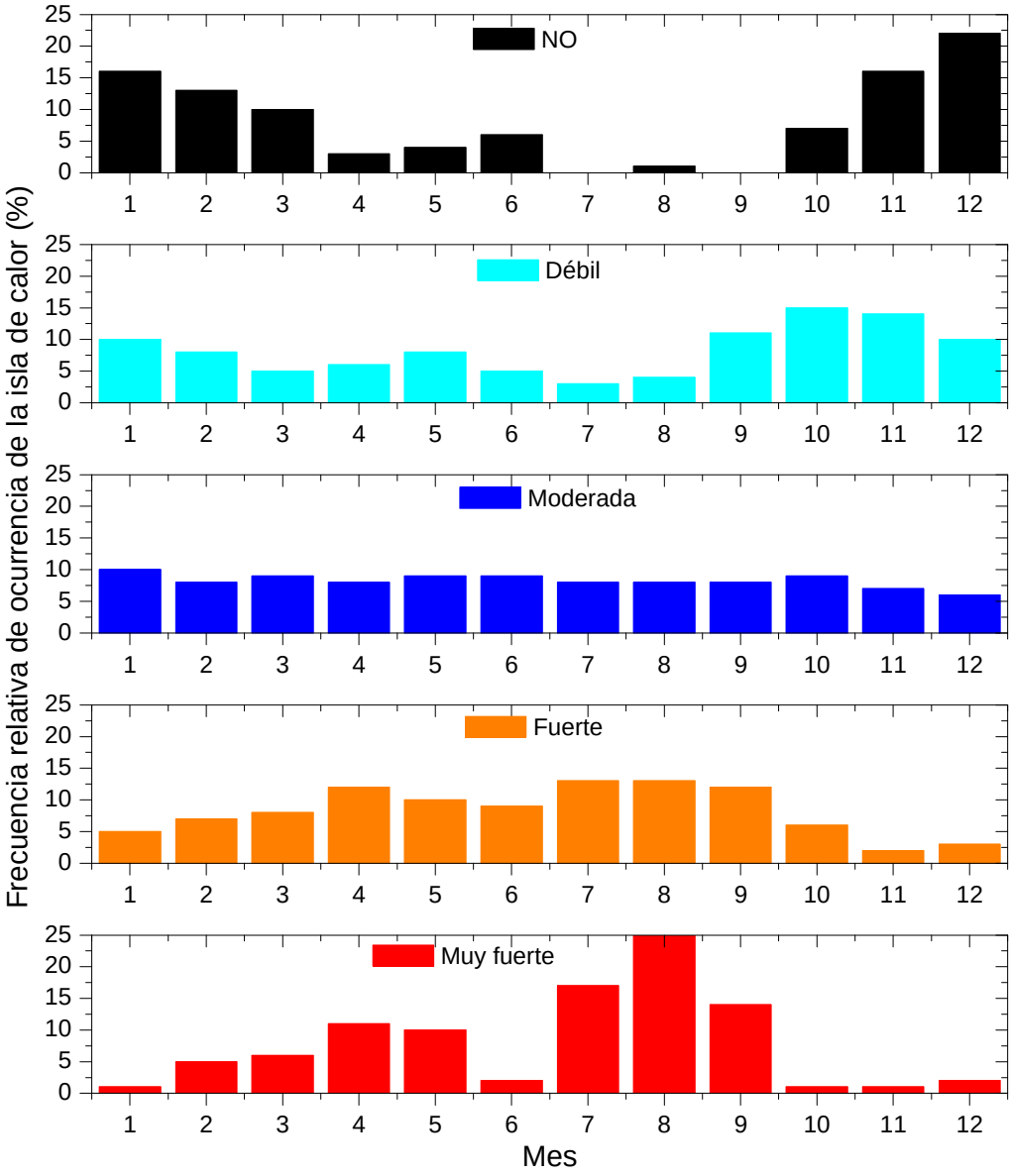


Figura 6. Ocurrencia mensual según el tipo de isla de calor.

3.4. Formación de las islas de calor urbano: aplicación de sistemas de información geográfica.

Aunque la detección del fenómeno y conocimiento de su intensidad se ha realizado con dos únicas estaciones, inicialmente se ha trabajado con 10 estaciones meteorológicas del área metropolitana. Esto ha permitido conocer cuales serían aquellas estaciones más idóneas para la identificación del fenómeno, resultados que se han expuesto en los subapartados anteriores. Además, con la utilización del mayor número de estaciones posibles también se pretendía conocer la distribución de temperaturas que se tiene en el área objeto de estudio.

Para conocer la distribución de temperaturas se han utilizado los sistemas de información geográfica, los cuales permiten obtener distribuciones espaciales de una variable a partir de los datos introducidos de esa misma variable en algunos de los puntos geográficos que interesa conocer. La distribución de los valores en un sistema de información geográfico se realiza a partir de diferentes métodos de interpolación. La interpolación es un procedimiento matemático utilizado para predecir el valor de un atributo en una localización precisa a partir de valores del atributo obtenidos de locaciones vecinas ubicadas al interior de la misma región.

La interpolación de datos ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos; sin embargo, la no utilización de una buena cantidad de puntos del área en estudio limita su utilización. Existen diversas técnicas o métodos de interpolación, el más extendido es el método Kriging.

El método Kriging cuantifica la estructura espacial de los datos mediante el uso de variogramas llamados algunas veces semivariogramas debido a su similitud en el cálculo- y los predice mediante la interpolación, usando estadística. Se asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen mayor peso o influencia sobre la interpolación, influencia que va disminuyendo conforme se aleja del punto de interés. La medición de la probabilidad, efectuada por los métodos Kriging, hace la diferencia con respecto a los métodos determinísticos para interpolaciones espaciales, de los cuales los más usados son el de ponderación de distancias inversas (IDW: inverse distance weighting) y “splines” o ajuste por curvas.

Además, existe otra técnica conocida como “vecino más cercano” o “nearest neighbours” en inglés. Esta técnica es apropiada cuando la variación en la superficie es abrupta o discontinua, el método de análisis consiste en delimitar áreas de influencia (unidades discretas) a partir de un conjunto de puntos. Cuando la distribución de los puntos es equidistante los polígonos coinciden con el área de cada celda. El tamaño y la configuración de los polígonos dependen de la distribución de los puntos originales. Una limitante del método es que el valor para cada polígono se obtiene a partir de un solo punto y por lo tanto no es posible estimar el error asociado a dicha estimación.

En el estudio de la isla de calor en el área metropolitana de Sevilla se han utilizado principalmente dos métodos para la interpolación de temperaturas, estos son por orden de importancia Kriging y el vecino más cercano. No se aplicó ningún criterio para conocer qué método de interpolación se utilizaba en cada caso puesto que venía impuesto por el número de datos inicial, por el área que se abarcaba en cada momento y por el comportamiento inicial de dicha interpolación con las temperaturas y el método Kriging.

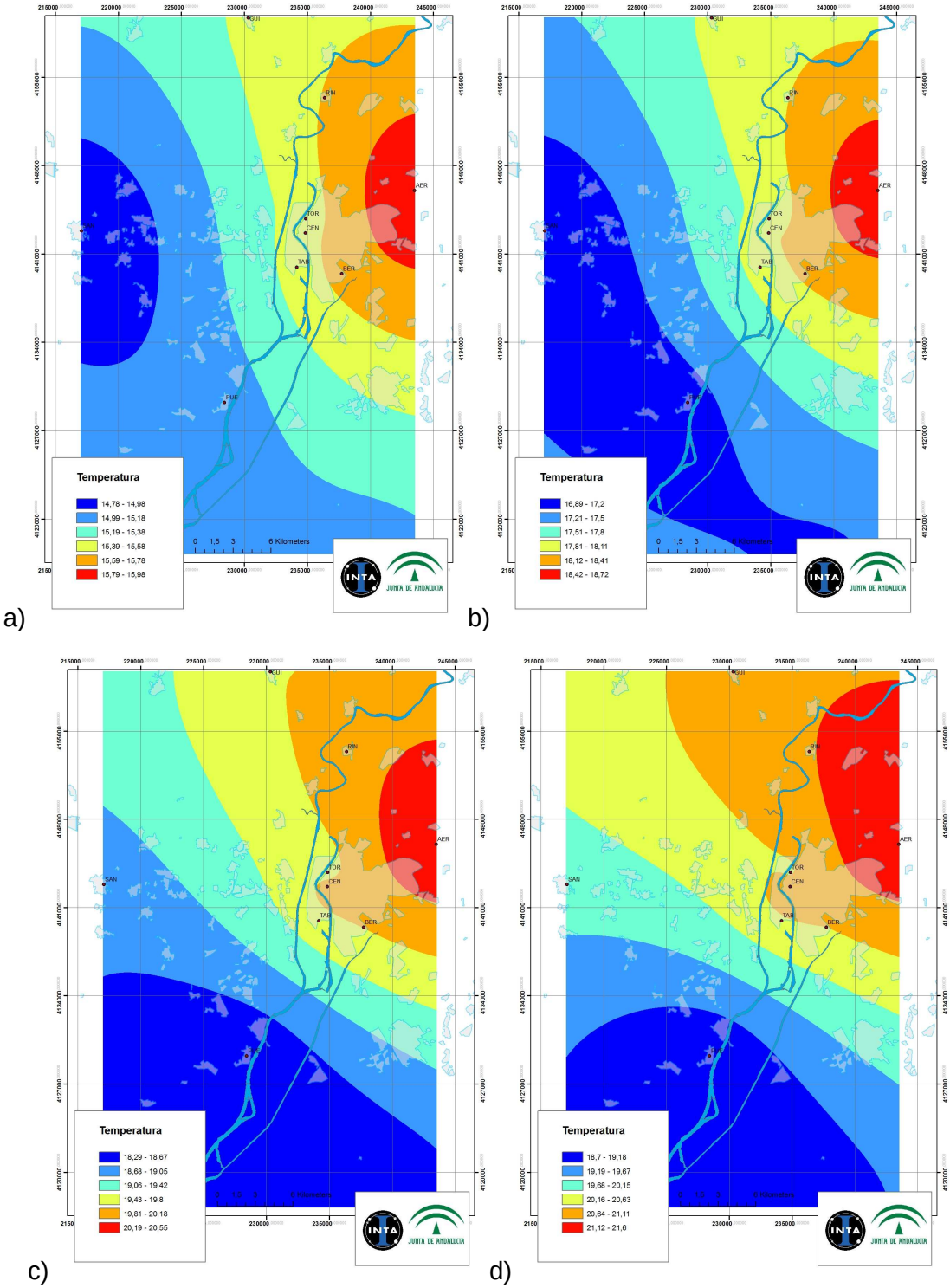


Figura 7. Distribución de temperatura en función del tipo de intensidad de la isla de calor en el área metropolitana de Sevilla, a) débil, b) moderada, c) fuerte y d) muy fuerte.

Se realizaron interpolaciones Kriging para conocer la distribución de las temperaturas en función del tipo intensidad, utilizándose para ello todo el período de datos. Los resultados se muestran en la Fig. 7. En dicha figura se expone la distribución de temperaturas en el área de Sevilla para los casos de intensidad débil, moderada, fuerte y muy fuerte.

De forma general se puede observar que el área urbana de Sevilla únicamente presenta dos rangos de temperatura, independientemente del tipo de intensidad. Y que las temperaturas más altas se encuentran en la región nordeste de la ciudad hacia la estación de Aeropuerto. Este resultado no es el esperado puesto que se conoce que el centro de la ciudad debería presentar mayor temperatura que la región periférica ubicada al nordeste. Sin embargo, este resultado se obtiene debido a los registros de temperatura de Aeropuerto, la cual fuerza al método de interpolación a presentar ese resultado.

Los rangos de temperatura son mayores, lógicamente cuando la intensidad de la isla de calor aumenta. Se observa en todos los casos como hay un gradiente de temperatura decreciente en dirección SW, lo cual pudiera ser explicado por un doble motivo. Es la dirección en la que se encuentra el río Guadalquivir, el cual produciría un efecto suavizador de las temperaturas. Además, la dinámica atmosférica de este tramo bajo del valle del Guadalquivir está caracterizada por presentar flujos en dirección SW-NE, siguiendo el eje del valle. Los flujos desde el SW traen masas de aire más frías y cálidas y a medida que suben valle arriba van perdiendo su humedad y se van calentado, resultado coherente con lo obtenido en la distribución de temperatura por los métodos de interpolación.

Se ha querido conocer cómo varía la distribución de temperaturas a lo largo del día cuando se desarrolla la isla de calor. Para ello se han calculado, aplicando las interpolaciones, mapas con las distribuciones de temperaturas promediadas cada hora, utilizando todo el período de medidas de 2003 a 2008. A modo de ejemplo se muestra en la Fig. 8 los mapas correspondientes a cuatro horas concretas del día. Tres de ellas se han podido obtener por el método Kriging, mientras que para obtener el de las 12:00 UTC se ha tenido que aplicar el método del “vecino más cercano” puesto que para esta hora no se tenía un número suficiente de datos que permitiera interpolar por Kringing.

En los tres mapas mostrados en los que se aplica la interpolación Kriging, en el área urbana se tienen tres rangos de temperatura. Al igual que se encontraba en el estudio de la distribución hecha para las intensidades, se observa un gradiente decreciente de temperaturas hacia el SW, es decir la temperaturas más altas se obtienen en dirección NE. En estos casos la estación de Aeropuerto no introduce un error tan significativo como ocurría en los mapas por intensidades. Para el caso del mapa de las 12:00 UTC no ha sido posible aplicar el Kriging y por ello se ha aplicado el otro método citado. En este caso se puede observar como se obtiene una influencia más marcada de la presencia del río Guadalquivir, produciendo ese aumento de temperatura hacia el oeste y descenso hacia el este, resultados diferentes a los que se obtenían si se aplican el Kriging.

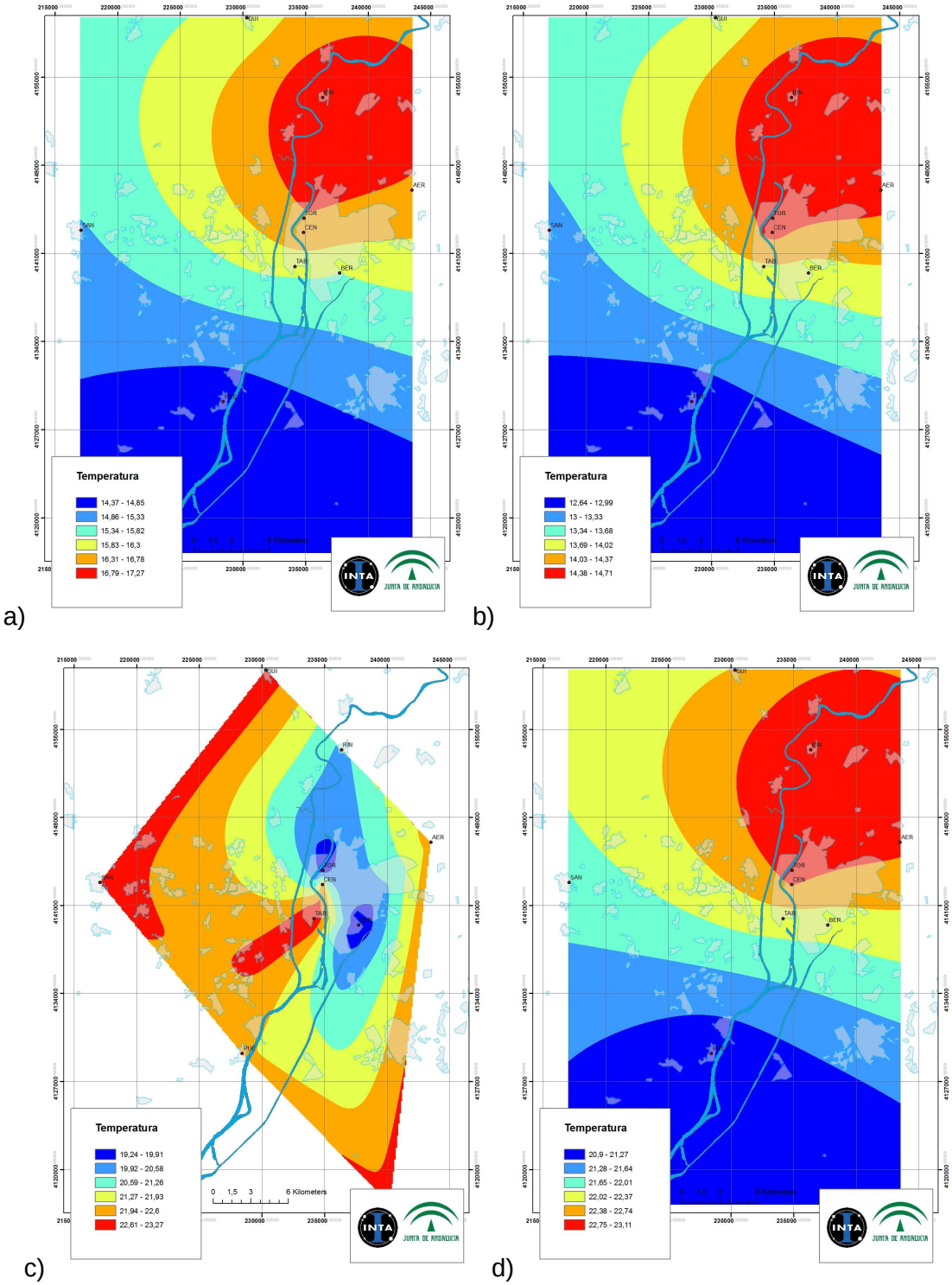


Figura 8. Distribución de temperatura a lo largo del día en el área metropolitana de Sevilla, a) 00:00 UTC, b) 06:00 UTC, c) 12:00 UTC y d) 18:00 UTC.

Conclusiones.

Este documento presenta los resultados que se han obtenido del análisis que se ha realizado de la isla de calor urbana en el área metropolitana de Sevilla. El proyecto de investigación ha sido propuesto y financiado por la CMAJA y desarrollado por la ESAt-El Arenosillo del INTA.

La región de estudio es el área metropolitana de Sevilla, el cual engloba a ocho municipios en un radio de menos de 30 km y en el que vive una población superior al millón y medio de habitantes.

Para la realización del trabajo se ha utilizado los datos meteorológicos recogidos en el Subsistema de Información CLIMA perteneciente a la CMAJA. Se han seleccionado las estaciones meteorológicas que se ubicaban en la región de estudio pertenecientes a tres redes de observación: AEMET, RIA y la CMAJA. Las estaciones seleccionadas han sido diez, las cuales suministran información de varios parámetros meteorológicos con una resolución temporal menor que la hora. Toda la base de datos se ha homogeneizado a valores horarios. El período de estudio ha comprendido desde el 2002 al 2008.

Se ha analizado la evolución mensual y diaria que experimenta tanto la temperatura como la humedad relativa. En general los valores de temperatura son más homogéneos, mientras que los de humedad relativa presentan una mayor variabilidad. Los valores mensuales de temperatura más bajos se localizan en enclaves suburbanos: Los Palacios, Rinconada y Puebla del Río, mientras que los mayores registros se tienen en la zona urbana, en estaciones como Centro.

La variación diaria de la temperatura y la humedad relativa se han presentando en dos períodos del año, considerados como época fría y cálida. Esto ha permitido analizar con detalle las variaciones que presentan en cada emplazamiento.

Aunque en un estado inicial se han utilizado un numero elevado de emplazamientos, para la identificación del fenómeno isla de calor, se ha decidido utilizar únicamente dos estaciones, una urbana, Centro y otra suburbana-rural, Puebla del Río. La selección de estas dos estaciones se ha podido realizar gracias al análisis realizado de la variación mensual y diaria. Además de conocer la ocurrencia del fenómeno, también se ha querido conocer cual es la intensidad del mismo. Para ello se ha definido una escala de intensidades, defendiéndose cuatro categorías: débil, moderada, fuerte y muy fuerte.

En los meses fríos es cuando no se producen islas de calor, aunque también se encuentran algunos cosas en meses cálidos. La isla de calor con intensidad débil se puede encontrar cualquier mes del año pero presenta una ocurrencia mayor en los últimos meses del año. Las islas de calor de intensidad moderada son las que con más frecuencia se producen a lo largo del año, siendo su frecuencia de ocurrencia muy homogénea. Las islas de calor con intensidad fuerte se pueden desarrollar cualquier mes del año pero su frecuencia de ocurrencia se triplica en los meses cálidos respecto a los meses fríos. La intensidad muy fuerte se encuentra en los meses cálidos, las mayores frecuencias se encuentran en los tres meses del periodo de julio a agosto.

Por último, se ha querido conocer la distribución de temperaturas en el área de estudio para ello se han utilizado los sistemas de información geográfica. De nuevo se han utilizado los registros meteorológicos de las diez estaciones ya mencionadas. Se han utilizado como métodos de interpolación el Kriging y cuando éste no se ha podido utilizar el del "vecino más cercano". Con esta metodología se han calculado mapas con la distribución de temperaturas en función del tipo de intensidad, y en distintas horas del día. Los resultados obtenidos permiten conocer que existe un gradiente de temperatura decreciente hacia el SW, incrementándose hacía el NE, lo cual es coherente con las condiciones meteorológicas generales que presenta esta región. Sometida a flujos en dirección SW-NE según el eje del valle del Guadalquivir. Aunque, se ha podido constatar que no se tienen suficientes estaciones de medido como para obtener una imagen detallada de la distribución de temperaturas en zonas concretas como sería todo el área urbana de la ciudad de Sevilla.

Por ello, se plantea como trabajo futuro la implementación de un mayor número de sensores de temperatura tanto en la ciudad como en sus alrededores, los cuales permitan tener una imagen más detallada de este fenómeno. Información que podrá servir tanto para analizar con más detalle el fenómeno, como para introducirse en los sistemas de información geográfica ya utilizados en este trabajo.

Por último, indicar que la metodología de trabajo aplicada pretende ser exportada en el futuro a otras áreas metropolitanas de Andalucía, con el fin de realizar un estudio más amplio de la ocurrencia e intensidad de islas de calor en el sur de España.

Referencias.

Djen, C.S, Jingchun, Z., Lin, W. 1994. Solar radiation and surface temperature in Shanghai City and their relation to urban heat island intensity. Atmospheric Environment, 28, 2119-2127

Domínguez, P. 2002. Clima regional y microclimas urbanos en la provincia de Córdoba. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba. 110 pp.

Fernández, F., Galán, E., Cañada, R. 1998. Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas. Editorial. Parteluz. 606 pp.

Fernández, F. 1996. Manual de Climatología Aplicada. Editorial Síntesis S.A. Madrid. España.

Hernández-Ceballos, M.A., Adame, J.A., Bolívar, J.P., De la Morena, B.A. 2010. The climatology of air masses in southwestern Iberian Peninsula from 1997 to 2007. Enviado a International Journal of Climatology.

Kolokotroni, M., Zhang, Y., Watkins, R. 2007. The London Heat Island and building cooling design. Solar Energy, 81, 102-110

Kysik, K., Fortuniak, K. 1999. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lód, Poland. Atmospheric Environment, 33, 3885-3895.

López, A., Fernández, F., Arroyo, F. 1995. Teledetección y clima urbano. Variaciones nocturnas y diurnas de la isla de Calor Urbano en Madrid. Instituto de Economía y Geografía. CSIC. 75 pp.

Moreno-Garcia, M.C. 2006. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. International Journal of Climatology, 14, 705-710.

Saitoh, T. S., Shimada, T., Hoshi, H. 1996. Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island. Atmospheric Environment, 30, 3431-3442.

Soler, M., Potchter, O. 2005. The urban heat island of a city in an arid zone: the case of Eilat, Israel. Meteorology and Atmospheric Physics, 85, 81-88.

Taha, H. 2008. Meso-urban meteorological and photochemical modelling of heat island mitigation. Atmospheric Environment, 42, 8795-8809.

Tso, C.P. 1999. A survey of urban heat island studies in two tropical cities. Atmospheric Environment, 30, 1996, 507-519.