

Biblio3W

REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA
Y CIENCIAS SOCIALES

Universidad de Barcelona.
ISSN: 1138-9796.
Depósito Legal: B. 21.742-98
Vol. XXI, núm. 1.179
25 de noviembre de 2016



El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica

María del Carmen Moreno García
Universidad de Barcelona
mcmoreno@ub.edu

Juan Antonio Serra Pardo
juanantonioserrapardo@gmail.com

El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica (Resumen)

En el presente trabajo se efectúa una revisión de los diferentes estudios sobre el fenómeno de la isla de calor urbana (ICU) realizados en ciudades mediterráneas. De este modo se realizará una reseña de cada estudio, presentando los métodos utilizados y las principales conclusiones. Destaca cómo en Grecia y España es donde aparecen un mayor número de trabajos realizados y de ciudades estudiadas. En especial, la ciudad de Atenas es la que aglutina una mayor número de estudios y de más diversas temáticas. Respecto a los tamaños de las ciudades, se puede observar como existe una diversidad de rangos, estando representadas las grandes, las medianas y las pequeñas.

Palabras clave: Isla de calor urbana, clima urbano, ciudades mediterráneas, transectos móviles, sensor remoto, estaciones meteorológicas

The study of the urban heat island in the Mediterranean area: a review (Abstract)

The research carries out a review of different studies about urban heat island (ICU) in mediterranean cities. In this way, it shows a brief description about the methods used by the researchers and the main results for each study. In Greece and Spain is where there are a larger number of studies and the cities analysed. Especially, Athens is the city that has a greater number of researches and more different topics. In relation to the size of cities, it can notice that exists diversity of ranges, being represented the big, medium and small ones.

Key words: Urban heat island, urban climate, Mediterranean cities, mobile surveys, remote sensing, weather stations

Una de las modificaciones del clima urbano que mejor se conoce y que ha sido más estudiada es el fenómeno de la isla de calor urbana (ICU). En 1817, Luke Howard será el primer investigador en descubrir la modificación térmica que presenta Londres, señalando que su centro urbano tenía unas temperaturas más altas que los campos de los alrededores y evaluando, además, claramente la diferencia en 3,7°F (2,2°C) durante la noche, mientras que durante el día era mucho menor. Posteriormente, Gordon Manley (1958), denominará esta modificación térmica por primera vez como isla de calor urbana¹.

Así pues, la ICU es un fenómeno de origen térmico que se desarrolla en las áreas urbanas causado por la diferencia de temperatura existente entre los sectores más densamente edificados de la ciudad (centro) y la de sus alrededores. El contraste térmico entre lo urbano y lo rural, se debe principalmente a tres factores: la producción directa de calor por combustión, el desprendimiento gradual del calor almacenado durante el día en las construcciones de ladrillo, hormigón y demás materiales similares y la radiación que es devuelta a la superficie terrestre por reflexión en la capa de impurezas atmosféricas².

Cuadro 1
Características de las islas de calor superficial y atmosférica

Características	Isla de calor superficial	Isla de calor atmosférica
Ritmo temporal	*Presente durante el día y la noche *Mayor intensidad durante el día y en verano	*Débil o inexistente durante el día *Mayor intensidad durante la noche o después de la puesta del sol y en invierno
Picos de intensidad	*Gran variación espacial y temporal: Durante el día de 10°C a 15°C Durante la noche de 5°C a 10°C	*Poca variación: Durante el día de -1,8°C a 3°C Durante la noche de 7°C a 12°C
Método de identificación	*Método indirecto Teledetección	*Método directo Estaciones meteorológicas fijas Transectos
Representación	*Imagen térmica	*Mapas de isotermas *Gráficos térmicos

Fuente: EPA, 2008

Se pueden distinguir dos tipos de isla de calor: la primera, denominada *isla de calor superficial (ICUS)*, representa la diferencia de la temperatura registrada en los distintos materiales y superficies urbanas (pavimentos, aceras, tejados de los edificios, etc.) respecto a las superficies rurales próximas a la ciudad; la segunda denominada *isla de calor atmosférica*, señala las diferencias térmicas entre el aire de las zonas urbanas y de las rurales³. Entre ambas se pueden observar diferencias en los mecanismos de formación, las técnicas empleadas para su identificación y las medidas de mitigación (cuadro 1). No obstante, varios autores⁴ hablan de tres tipos de isla de calor al dividir la isla de calor atmosférica en dos tipos: la isla de calor del palio urbano (*canopy layer urban heat island*) y la isla de calor de la capa límite urbana (*boundary layer urban heat island*). El palio urbano es la capa de aire de las ciudades más

¹ Moreno, 1991-92.

² Domínguez, 2002.

³ Fernández, 2009.

⁴ Como Voogt, 2007.

cercana a la superficie, donde las personas viven, que se extiende desde el suelo hasta las copas de los árboles o los tejados de las edificaciones⁵. La capa límite urbana comienza en la parte alta de los edificios hasta aquella parte de la atmósfera que ya no se ve influenciada por los cambios térmicos introducidos por la ciudad, normalmente entre 1 km o 1,5 km de altura.

A lo largo de la última mitad del siglo XX y la primera década del XXI se ha ido conformando una abundante bibliografía entorno al clima de las ciudades y, en especial, sobre la ICU, demostrando el gran interés de investigadores de diversas disciplinas por conocer, en general, la influencia del hombre en el medio ambiente, y, en particular, las alteraciones o modificaciones climáticas antropogénicas en las ciudades.

Frente a la gran producción científica sobre la ICU que se ha venido generando los últimos decenios y las diversas revisiones realizadas⁶, la bibliografía que aquí se presenta es selectiva, recogiendo los principales trabajos publicados sobre ciudades mediterráneas, debido a ser el ámbito donde ambos autores han realizado estudios y a que no existen precedentes. Se ha procurado que fueran investigaciones fácilmente accesibles, en especial en línea, por lo que no se han incluido aquellos trabajos, cuya consulta resulta una difícil tarea, debido a lo restringido de su difusión. Del mismo modo, el número de trabajos se ha limitado a aquellos redactados en inglés y castellano, principalmente, y francés, italiano y catalán.

La bibliografía se ha obtenido a través de dos modos de búsqueda, siendo lo más exhaustivos posible. Un primer modo ha sido la utilización de palabras clave⁷ en los buscadores de varias bases de datos bibliográficas⁸ y de internet. El segundo modo, ha sido a partir de referencias bibliográficas en diferentes artículos y obras.

La mayor parte de las referencias bibliográficas están constituidas por artículos de revistas científicas, aunque también hay algunas obras y libros. En total se han encontrado unos 60 trabajos en algo más de 30 ciudades. El inglés es la lengua en la que se dispone de más trabajos (72%), mientras que el castellano es la segunda lengua, con un 22%. Se ha realizado una clasificación de las referencias, agrupándolas por países y ciudades.

El objetivo principalmente divulgativo de la revisión bibliográfica pretende servir a estudiantes, expertos o interesados en la temática para que conozcan las diferentes investigaciones efectuadas en el ámbito del Mediterráneo y, en caso de necesitar un mayor detalle de información, que sepan donde acceder a la mismas.

Grecia

Existen un buen número de estudios en el país heleno, la mayoría centrados en su capital. Atenas es una ciudad con 3.074.160 habitantes⁹ y una superficie de 412 km²; no obstante, su región metropolitana es mucho mayor. El primer estudio que debe mencionarse es el de Katsoulis y Theoharatos¹⁰. Ellos analizan los datos de nueve observatorios para el periodo

⁵ Moreno, 1997.

⁶ Ver Moreno, 1990 y 1992; Arnfield, 2003; Santamouris, 2007; Rizwan, Dennis y Liu, 2008; Stewart, 2011; Gago *et al.*, 2013.

⁷ Las palabras claves fueron: isla de calor urbano, clima urbano, urban heat island, urban climate, isola di calore urbana, clima urbano, ilot de chaleur urbain, climat urbain.

⁸ Como ISOC, Dialnet, Open Acces Journals, ScienceDirect y Springer.

⁹ Los datos de población aportados en este apartado se refieren al Censo de 2011.

¹⁰ Katsoulis y Theoharatos, 1985.

1961-1982, aunque posteriormente Katsoulis¹¹ publicará otro estudio ampliando el periodo analizado desde de 1858. Conviene señalar que los registros de temperatura que utilizarán serán los tomados a las 8h, a las 14h y a las 20h. Su análisis se basa en la comparación de las temperaturas máximas y mínimas entre los observatorios, sin entrar en el análisis de la intensidad de la ICU. Desde esa premisa, observan cómo existe la ICU en la ciudad durante todo el año, cuyo efecto resulta más evidente al comparar las temperaturas mínimas entre los observatorios urbanos y rurales. Unas mínimas que han experimentado un significativo incremento a partir de los años 20, coincidiendo con el gran crecimiento urbano de la ciudad.

Con el objetivo de estudiar el impacto de la urbanización en Atenas, Philandras *et al.*¹² analizan las temperaturas máximas y mínimas mensuales entre 1890 y 2000 de dos observatorios meteorológicos, uno en plena área urbana y el otro en el área rural a 70 km de distancia de la ciudad. Los resultados muestran que los efectos introducidos en el observatorio urbano no son muy significativos, lo que atribuyen a su localización en un pequeño monte a 70m que no ha sido urbanizado. Sin embargo, sí que detectan un mayor contraste entre las temperaturas máximas, justo lo contrario que el estudio de Katsoulis y Theoharatos. Unas temperaturas máximas que inician su incremento a partir de la II Guerra Mundial cuando se inicia el proceso de motorización de la población urbana. Detectan, además, cómo la influencia de la brisa marina incrementa las temperaturas máximas en unos 2°C estacionalmente, excepto en invierno.

Una nueva investigación¹³ utiliza un modelo de red neuronal (*network neural*) para el estudio de la ICU en el área metropolitana de Atenas. Los modelos de red neuronal se suelen utilizar para estimar o aproximar a funciones que pueden depender de un gran número de entradas de datos, una gran parte de origen desconocido. Los datos utilizados provendrán de 23 estaciones meteorológicas que los registran de forma horaria. El trabajo presentado en 2002¹⁴ examina los datos correspondientes a 500 días entre 1997 y 1998, mientras que el publicado 2004¹⁵ examina los datos para los años 1996 y 1997. Después de un periodo de ajuste del modelo y entrenamiento, pasan a comprobar si las intensidades estimadas por el modelo corresponden a las intensidades de la ICU registrada en cada estación. Aunque ambos estudios son similares en sus objetivos, existen dos notables diferencias en su ejecución, además del diferente periodo de estudio. En el estudio presentado en 2002 se realiza la estimación de la ICU a partir de la situación sinóptica diaria observada a 850hPa (las clasifican según 8 categorías), las temperaturas registradas en cada estación cuando se produce la intensidad máxima de ICU, la temperatura registrada por la estación de referencia cuando se produce el máximo de ICU, los valores diarios de máxima radiación solar y la máxima velocidad del viento registrada (estos dos últimos valores son registrados por el Observatorio Nacional). En el del 2004 se hace una estimación de la intensidad nocturna y diurna de la ICU, utilizando diferentes parámetros. La estimación de la intensidad nocturna se realiza a partir del valor de la temperatura máxima diaria de cada estación y los valores nocturnos de la temperatura registrados en la estación que seleccionan como referencia. La estimación de los valores diurnos de la intensidad la hacen a partir de los valores térmicos horarios diurnos registrados en cada estación, el máximo valor diario de radiación solar dado por el Observatorio Nacional de Atenas y los valores térmicos de la estación de referencia. En el trabajo de 2002 observan que el margen de error entre los valores simulados y los registrados va de 0,1°C a 0,4°C.

¹¹ Katsoulis, 1987.

¹² Philandras *et al.*, 1999.

¹³ Mihalakakou *et al.*, 2002 y 2004.

¹⁴ Mihalakakou *et al.*, 2002.

¹⁵ Mihalakakou *et al.*, 2004.

Detectan que en el 85% que se producen fuertes ICU se produce una situación de altas presiones, mientras que cuando se producen situaciones de bajas presiones o flujos del noroeste aparecen ICU débiles. Los autores consideran que la circulación atmosférica afecta de forma considerable en la ICU de Atenas, ya que influye en su formación y evolución. Los resultados obtenidos en el estudio de 2004 muestran que los errores entre los valores estimados y los registrados van de 0,1°C a 0,3°C, tanto en los datos nocturnos como diurnos. También observan que la utilización de los valores de la temperatura máxima, en el caso de la ICU nocturna, y el uso de los valores térmicos de cada estación, en la ICU diurna, son más útiles para la estimación de las intensidades. Otro aspecto que detectan es que bajo altas presiones, la ICU nocturna se desarrolla de forma más clara e intensa, mientras que cuando hay flujos del sudoeste, caracterizados por la presencia de viento intenso, la intensidad de ésta se reduce. En el caso de la ICU diurna, señalan que el incremento de situaciones anticiclónicas en verano da lugar a intensidades especialmente elevadas.

Un estudio más reciente¹⁶ también usa el método de red neuronal para estudio de la ICU en Atenas. Éste se basa en los datos registrados por 14 estaciones meteorológicas durante un año (de abril de 2009 a mayo de 2010). A partir de estos datos se utilizan tres técnicas de redes neuronales (Cascada, Elman y Feed-Forward) para comprobar su utilidad en la predicción de la intensidad de la ICU. Los parámetros principales empleados son los datos representativos de las variaciones climáticas anuales, la hora, la temperatura registrada en las estaciones y la radiación solar registrada en el Observatorio Nacional. Los resultados muestran que, usando una serie de datos limitados, se pueden realizar predicciones de 24h de la intensidad de la ICU. También indican que la metodología de predicción de red neuronal puede ser una herramienta importante para predecir las necesidades de energía durante episodios cálidos contribuyendo a una mejor gestión de las demandas y de la generación de energía.

Con el propósito de determinar en qué sectores del área de Atenas el efecto de la ICU es más intenso surge un nuevo trabajo¹⁷. Éste examina los datos horarios de 20 observatorios entre junio de 1996 y marzo de 1998. En un primer momento, se analizan las temperaturas horarias medias para las cuatro épocas del año en cada uno de los observatorios. Luego se pasa a estudiar la frecuencia de horas con altas (>26°C) y bajas (<15°C) temperaturas, para época cálida o fría, y su persistencia, diferenciando según sean observatorios urbanos o suburbanos. Esto permite estimar el discomfort térmico de las personas. En un segundo momento, los autores pasan a centrarse en observar los rangos de las temperaturas horarias mínimas y máximas, diferenciando los sectores urbanos y suburbanos, para las cuatro épocas del año. A partir de este análisis, los autores contemplan: la clasificación de los observatorios en urbanos y suburbanos a partir de observar las horas por debajo de los 26°C, en el periodo cálido, y por encima de los 15°C, en el frío; la existencia de un mayor efecto de la ICU en la época cálida; la localización de los máximos valores de la ICU en el centro de la ciudad, en lugares abiertos, sobre todo, donde el efecto de cañón urbano no favorece, pero sí se ven afectados, en cambio, por la presencia de importantes superficies de asfalto y un tráfico muy denso, en especial, de autobuses; la influencia que tiene la vegetación o la presencia de una corriente de aire local sobre algún observatorio, lo que provoca el registro de unos valores térmicos anómalos en comparación a los próximos a éstos; y, por último, la influencia marina, que se hace patente en el periodo frío incrementando las temperaturas.

¹⁶ Gobakis *et al.*, 2011.

¹⁷ Livada *et al.*, 2002.

Los aspectos mesoescalares y macroescalares del fenómeno en la ciudad también han sido estudiados¹⁸. Los autores de la investigación examinan las características matutinas de la ICU, concretamente para las 06h, a partir de las temperaturas mínimas urbanas y rurales. También analizan los datos mesoescalares, de las situaciones sinópticas para el periodo 1990-2001. Los resultados les permiten identificar siete tipos de ICU: menos de -1°C (clase 1), de -1°C a 0°C (clase 2), de 0°C a 1°C (clase 3), de 1°C a 2°C (clase 4), de 2°C a 3°C (clase 5), de 3°C a 4°C (clase 6) y más de 4°C (clase 7). Para cada tipo, identifican sus características meteorológicas, espaciales y temporales. Conviene indicar que para 2/3 de los días se detecta la presencia del fenómeno, siendo de una intensidad fuerte (clases 6 y 7) en 1/3 de los casos estudiados. La ICU más fuerte, clase 7, es la que se observa en un mayor número de casos (19%), mientras que el segundo tipo son las de clase 2. Otro aspecto que destacan es cómo la ICU se desarrolla de forma más importante durante las noches con cielos despejados y una baja humedad relativa. Una ICU que se hace patente en todas las épocas del año, rápidamente por las tardes; sin embargo, en verano e invierno, la brisa marina suele retrasar su aparición y reducir su intensidad y configuración. Durante cada caso de ICU son examinados los fenómenos mesoescalares y macroescalares, de este modo, señalan cómo los casos de ICU fuertes vienen asociados con situaciones anticiclónicas (frecuentes en primavera y al principio del verano) o advectivas en la baja troposfera, mientras que los casos con ICU débiles se asocian a vientos fuertes de noroeste.

La estimación de los impactos ambientales, directos e indirectos, generados por los efectos de la ICU en la capital helena también han sido objeto de investigación¹⁹. En ésta se estiman la huella ecológica adicional que genera la ICU a partir del análisis de los datos térmicos de 23 estaciones meteorológicas durante los años 1997 y 1998. Estos datos permiten calcular el incremento en la demanda de energía debido a la mayor utilización de aires acondicionados y el sobre coste ambiental que esto supone. El resultado obtenido es que la ICU presenta un efecto significativo y genera una huella ecológica que excedería entre 1,5-2 veces el tamaño de la ciudad. También se considera que si todos los edificios de Atenas tuvieran aires acondicionados harían falta, aproximadamente, un millón de hectáreas de árboles para compensar el CO₂ generado. Otro estudio en la ciudad examina la influencia del viento sobre la ICU²⁰. Los autores se centran en la relación entre la velocidad del viento y la temperatura a partir del análisis de los datos térmicos registrados cada hora en 27 estaciones durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, entre 1996 y 1998, y los datos de la velocidad del viento facilitados por el Observatorio Nacional de Atenas. Detectarán, de forma estadística, que existe un pequeño aumento de la temperatura cuando se incrementa la velocidad del viento. También examinarán la relación entre la velocidad del viento y la temperatura para cada estación meteorológica y el patrón espacial de esta relación sobre la ciudad.

Existen cinco estudios más recientes realizados en los últimos 5 años. El primero²¹ estudia las características estivales (junio, julio y agosto de 2009) de la ICU a partir de 25 estaciones meteorológicas que registran sus datos cada 15 minutos. Los autores realizan una división de los datos según cinco zonas geográficas (centro, norte, este, sur y oeste). Detectan que las máximas intensidades se encuentran en la zona industrial del este y en el centro de la ciudad, donde registran valores de unos 5°C, mientras que las áreas con unas intensidades más bajas están al norte y al este de la ciudad. También analizan la cantidad de horas donde la temperatura excede los 30°C (que es cuando se considera que hay recalentamiento),

¹⁸ Kassomenos y Katsoulis, 2006.

¹⁹ Santamouris *et al.*, 2007.

²⁰ Papanikolaou *et al.*, 2008.

²¹ Giannopoulou *et al.*, 2011.

obteniéndose un máximo de 50 horas mensuales, y realizan una correlación entre las temperaturas diarias y nocturnas. Por otro lado, estudian la distribución temporal y espacial de las altas temperaturas. El segundo estudio²² analiza la isla de calor superficial del área metropolitana de Atenas a partir de 3.041 imágenes (1.085 diurnas y 1.956 nocturnas) obtenidas del MODIS durante un periodo de nueve años (del 2000 al 2009) en verano (de mayo a septiembre). A través de esas imágenes se realiza un mapa de la temperatura superficial de los suelos (*Land Surface Temperature, LST*) de la ciudad con el que examinan los patrones espaciales y térmicos de la ICU en Atenas. Durante el día se detectan tres polos de calor o manchas de calor (*hot-spots*) en la ciudad que son estudiados en más detalle. Los autores observan que éstos presentan unas características y comportamiento similar (son áreas industriales con escasa vegetación), registrándose la máxima intensidad en verano, con una intensidad media de 9°C-10°C y una máxima de 17°C. Durante la noche, los centros de calor pasan a situarse sobre sectores residenciales, más centrales, donde la ICU presenta una extensión media de 55,2 km², con una intensidad media de 5,6°C y máxima de 12,3°C. En el tercer estudio²³ se presenta un modelo que puede ser utilizado para simular los efectos de la ICU al que denominan UHI-MS. Este modelo permite simular/pronosticar la temperatura del aire más próxima a la superficie y las condiciones de confort térmico a partir del índice de disconfort térmico y el índice AWBGT. Es testado de forma satisfactoria en Atenas durante un mes y medio entre julio y agosto de 2010, mostrándose más preciso en pronosticar los valores máximos que los mínimos y el comportamiento térmico diario que el nocturno. El cuarto²⁴ analiza la evolución horaria de la ICU durante el mes de julio de 2009. El estudio combina los datos registrados por 26 estaciones y el análisis de imágenes de satélite, lo que permite cartografiar la evolución espaciotemporal de la ICU en el área metropolitana de la ciudad entre el 15 y el 31 de julio. El quinto trabajo²⁵, analiza la evolución de las características estacionales de la ICU para el periodo 1970-2004. Con los datos de 7 observatorios urbanos y suburbanos se observa cómo la intensidad media de la ICU ha experimentado un crecimiento a razón de 0,2°C/década, siendo mayor la ICU nocturna que la diurna en todas las épocas del año. Otro hecho que destaca es cómo la ICU nocturna muestra una mayor intensidad estival (~4,5°C en verano y ~3,5°C en invierno), mientras que la ICU diurna presenta mayores valores invernales. También se pone de manifiesto que la intensidad de la ICU diurna ha experimentado un mayor crecimiento en verano (a razón de 0,8°C/década) que en invierno (0,3°C/década), lo que es atribuido, entre otros factores, al incremento del calor antropogénico. Este crecimiento de la ICU diaria estival lo relacionan con el crecimiento del número de días extremadamente cálidos (<35°C), observando una bidireccionalidad entre ambos. Por último, bajo episodios de olas de calor detectan un comportamiento diferente de la ICU nocturna, cuya intensidad tiende a incrementarse, y la diurna, que, en cambio, tiende a mantenerse constante.

Una vez revisados los numerosos estudios de Atenas toca mencionar los trabajos en otras ciudades griegas. Tesalónica es la segunda ciudad más importante del país, siendo el principal puerto del norte del Egeo y la capital de la región de Macedonia Central. Presenta una población de 790.824 habitantes y una superficie de 111,7 km². En primer lugar, debe hacerse mención a una investigación donde se estudia el fenómeno de la ICU durante un año en la ciudad²⁶. Los autores analizan la ICU a partir del análisis de los datos recopilados por siete

²² Keramitsoglou *et al.*, 2011.

²³ Giannaros *et al.*, 2014.

²⁴ Kourtidis *et al.*, 2015.

²⁵ Founda *et al.*, 2015.

²⁶ Giannaros y Melas, 2012. Debe señalarse que se realiza una presentación de los resultados preliminares en Giannaros *et al.*, 2010.

estaciones meteorológicas entre marzo de 2008 y febrero de 2009. Observan una mayor intensidad durante el periodo estival, con unas intensidades que se mueven entre los 2°C y los 4°C, mientras que en el periodo invernal las intensidades quedan entre 1°C y los 3°C. En los meses cálidos las intensidades diarias se muestran más homogéneas, mientras que en los meses fríos son más variables. La mayor intensidad es nocturna (entre las 20h y las 06h), normalmente registrada después de la puesta de sol cuando el calor almacenado durante todo el día mantiene la temperatura elevada en el centro de la ciudad. Conviene señalar que registran intensidades negativas justo después de la salida del sol cuando la ciudad muestra unos valores más frescos que el área rural. Bajo situaciones sinópticas estables, especialmente anticiclones durante el verano, se producen las mayores intensidades de la ICU. El viento es el factor meteorológico que mayor afecta a la intensidad, cuando supera los 4m/s ésta disminuye significativamente. También analizan el exceso de humedad urbana (*urban moisture excess*), es decir la diferencia entre la presión de vapor de agua urbano y rural, observando que éste está precedido por la máxima intensidad de la ICU, produciéndose su máximo valor entre las 04h y las 06h. Por último, los autores estudian el impacto negativo que tiene la ICU sobre el confort térmico de los habitantes de la ciudad, en especial en el centro urbano.

En Tesalónica, otro trabajo²⁷ investiga dos impactos de la ICU, el desconfort térmico y la peor calidad del aire, en la ciudad. Para ello se emplean los datos de cinco estaciones durante el periodo 2001-2009, lo que permite examinar los índices de desconfort y de calidad del aire en la ciudad. Se observa que el desconfort térmico en la ciudad se da de mayo a octubre, siendo durante los meses de julio y agosto y, en especial, por la noche cuando se producen los mayores índices de desconfort. En el caso de la calidad del aire, durante la época cálida parece que hay una mayor frecuencia de casos con índices elevados. La ICU de la ciudad solo se analiza para el verano, ya que es cuando se da un mayor grado de desconfort. La intensidad diurna suele mostrar valores bajos (entre 0°C y 1°C), mientras que la nocturna muestra valores más elevados (pueden llegar a los 7°C). Posteriormente, se pasa a relacionar los índices de desconfort y de calidad del aire con la intensidad de la ICU. Los resultados muestran cómo durante el verano, la mala calidad del aire y el desconfort térmico de las personas, especialmente en el centro de la ciudad, suele estar asociado en más ocasiones a episodios intensos de ICU. Sin embargo, cuando las condiciones atmosféricas permiten una buena calidad del aire y/o un menor desconfort se dan menos casos de intensidad elevada de la ICU. Aunque no tratan el tema de ICU de forma directa, conviene mencionar un trabajo²⁸ donde se analiza la temperatura de la superficie y las condiciones microclimáticas en cuatro bloques de pisos y sus calles, localizados en el centro de la ciudad.

La ciudad de Volos, situada en la costa este de sector central de Grecia, en el golfo de Pagasitiko, es uno de los puertos comerciales más importantes del país. Cuenta con una población de 144.449 habitantes y una superficie de 27,67 km². En ésta hay un estudio²⁹ que determina, mediante el análisis de los datos invernales y estivales del año 2010 de cuatro estaciones meteorológicas, la presencia del fenómeno de ICU, registrando una intensidad media de 2°C (tanto en invierno como en verano) y una máxima intensidad de 3,4°C, obtenida durante el invierno. Los autores observan que las máximas intensidades se producen entre la puesta del sol y el amanecer. En el 50% de los casos de estudios invernales se registran antes de las 22h, mientras que en el 66% de los casos estivales entre 1 hora después de la puesta de sol y las 02h. Otro aspecto importante del trabajo radica en la observación de la relación entre

²⁷ Poupkou *et al.*, 2011.

²⁸ Kantzioura *et al.*, 2012.

²⁹ Papanastasiou y Kittas, 2012.

el mayor nivel de polución y la mayor intensidad de la ICU, observando cómo el incremento de la polución atmosférica se traduce en una mayor intensidad de ICU en invierno, mientras que en verano pasa lo contrario.

Existe un trabajo que estudia las ICUS en las ciudades de Tesalónica y Volos³⁰. En él se analizan imágenes de satélite obtenidas a mediados del verano (28 de julio), al considerar que es cuando se dan las temperaturas más altas en Grecia y una mayor ICU. En el caso de Tesalónica la imagen térmica pertenece al WorldView-2, mientras que en Volos la imagen adquirida es del Landsat. Los resultados muestran una clara correlación entre la mayor temperatura y los sectores más densamente construidos de la ciudad. También establecen una correlación entre la mayor temperatura y la menor presencia de zonas verdes. De este modo los máximos térmicos se localizan en las áreas centrales de las ciudades, donde están los centros históricos. Aunque ambas presentan una morfología similar y un emplazamiento parecido, los autores señalan que tienen una temperatura media diferente, Tesalónica (33°C) y Volos (27°C). Este hecho lo atribuyen a que Tesalónica tiene una densidad poblacional superior, una mayor edificación (edificaciones más altas) y una red de carreteras más densa que Volos, donde existen edificaciones de menor altura y mayores espacios abiertos en su trama urbana.

Otra investigación³¹ analiza las ICUS de las cinco ciudades más importantes de Grecia (Atenas, Tesalónica, Patra, Volos y Heraklion). Patra se encuentra situada al norte de la península del Peloponeso, en el Golfo de Patras, tiene una población de 168.034 habitantes y una superficie 125,4 km². Heraklion es la capital de Creta, situándose en el centro de la costa norte de la isla, con una población de 173.450 habitantes y una superficie de 245,12 km². En dicho estudio, se utilizan imágenes del satélite Landsat 7 para estudiar la ICUS diurna en las diferentes ciudades. La información obtenida de las imágenes se cruza con la información de los usos del suelo proporcionada por *Corine land cover*. La imagen seleccionada para cada ciudad corresponde a la época cálida (mayo, junio, julio y agosto). En Atenas observan una intensidad de la ICUS de 5,2°C, cuyo máximo está en el área central de la ciudad; unos valores térmicos más elevados en los suburbios del sudoeste respecto a los del noreste; el sector industrial situado entre el centro de la ciudad y los suburbios del noroeste presenta una elevada temperatura superficial, debido a su actividad y su desarrollo urbanístico. En Tesalónica, la intensidad de la ICUS es de 2,7°C y las áreas más cálidas de la ciudad se ubican cerca de la costa, algo que atribuyen al importante papel que juega el puerto en el desarrollo urbano (red de carreteras incluidas) y al ser éste un gran polo de actividad. La ciudad de Patra registra una intensidad de 3°C, jugando también el puerto un papel significativo en la distribución de la temperatura superficial. En Volos la ICUS presenta una intensidad de 2,3°C, observándose los sectores del noreste como los más fríos debido a su proximidad a las áreas forestales de monte Pilon. Finalmente, en Heraklion detectan los valores térmicos máximos cerca del aeropuerto donde se registra 7,3°C más que en las áreas rurales próximas a la ciudad.

Hania, ciudad localizada en el sector occidental de la isla de Creta, es el segundo núcleo urbano más importante de la isla, presentando una población de 65.838 habitantes y una superficie de 12,56 km². Sobre ella se realiza un estudio³² de la ICU a partir de los datos meteorológicos de nueve estaciones urbanas y tres rurales. Entre los meses de mayo y octubre de 2007 se examinan la temperatura y la humedad en la ciudad; en paralelo también se

³⁰ Stamou *et al.*, 2013.

³¹ Veáse en Stathopoulou *et al.*, 2005, y Stathopoulou y Cartalis, 2007.

³² Kolokotsa *et al.*, 2010.

analizan la relación entre la presión atmosférica, la precipitación, el viento (dirección y velocidad) y las horas de luz con la aparición de la ICU y sus características. La ICU detectada alcanza una máxima intensidad de casi 8°C, a finales del mes de agosto, presentando un valor medio de 2,6°C. Respecto a la variación temporal de la intensidad, destaca cómo durante el día se registra la máxima intensidad, entre las 15h y las 17h, mientras que por la noche es inferior. Esta menor intensidad nocturna, algo atípico, se debe a la brisa nocturna que suele producirse, proveniente de las Montañas Blancas, lo cual reduce el estrés térmico por las noches. Así, la ICU se encuentra fuertemente influenciada por la velocidad del viento y la dirección de éste; los vientos del norte parecen incrementar la superficie de ésta, mientras que los del oeste la reducen. Por último, se observan que las precipitaciones disminuyen la intensidad y desdibujan la configuración espacial de la ICU.

La ciudad de Agrinio, con una superficie de 162,7 km², es una de las ciudades más grandes del oeste de Grecia. El municipio cuenta con una población de 94.181 habitantes y se estima que algo más del 50% reside en la ciudad. Un estudio analiza la ICU mediante la instalación de nueve sensores que recopilaban datos cada 10 minutos durante los periodos de verano e invierno, entre 2010 y 2011³³. El estudio confirma la presencia del fenómeno en esta ciudad observando una mayor intensidad en verano, hecho que atribuyen a la mayor radiación solar y a las situaciones sinópticas estables que prevalecen durante esa época estacional sobre Grecia. Se produce una mayor intensidad nocturna con intensidades máximas que pueden llegar a los 6°C, mientras que a primera hora de la mañana detectan la presencia de una isla de frescor. También se muestra que cuando la velocidad del viento es mayor de 7,5km/h, la intensidad de la ICU es menor de 2°C. Por último, el estudio concluye que la presencia de la ICU en ciudades con veranos cálidos y noches especialmente calurosas tiene una influencia directa sobre el consumo de energía.

Chipre

En Chipre, existe una investigación³⁴ en donde se estudia la ICU en las cuatro áreas urbanas más importantes de la isla: Nicosia, capital del país, que se sitúa en el centro-norte de la isla y cuenta con una población metropolitana de 239.277 personas³⁵; Limasol, situada en la bahía de Akotiri en la costa sur del país, con 235.056 personas; Larnaca, con 72.000 habitantes, localizada en la costa sureste; y Paphos, al suroeste de la isla, con una población de 66.356 personas. A partir del análisis de imágenes de satélite obtenidas por la noche (01:30am, hora local) del Aqua MODIS obtienen las intensidades medias mensuales para el período 2002-2008 y para la intensidad diaria entre el 23 de julio y el 28 de agosto de 2010. La investigación muestra que Nicosia presenta una mayor intensidad, en especial durante el periodo cálido cuando se sitúa por encima de los 4°C, mientras que las otras ciudades aparecen menos afectadas que la capital por las intensidades elevadas esa época (entre 1,5°C y 3°C), si bien muestran unos valores más elevados en la época fría. Los autores hacen referencia que esta diferencia puede deberse a la diferente localización de la capital, en el centro, y la de las otras ciudades, en la costa. Respecto a las máximas intensidades diarias, Nicosia registra 6,9°C, Lanarca 3,9°C y Limasol 3,1°C el día 25 de agosto de 2010 y Paphos 5°C el 31 de julio de 2010.

³³ Vardoulakis *et al.*, 2013.

³⁴ Hadjimitsis *et al.*, 2013.

³⁵ Los datos de población mencionados en el apartado se refieren al Censo de 2011.

Una publicación más reciente analiza³⁶ los datos meteorológicos diarios de dos estaciones, una rural y otra urbana, para el periodo 1983-2010 con el objetivo de detectar la existencia de la ICU en la ciudad de Nicosia. En el estudio examinan los datos agrupándolos en tres decenios (1983-1990, 1991-2000 y 2001-2010), observando cómo la intensidad del fenómeno se ha visto reducida de forma importante con el paso de los años, pasando de 6,8°C, en el primer decenio, a 6,2°C, en el segundo y 3,5°C, en el último. El importante descenso de la última década resulta sorprendente. Los autores señalan que durante esta última década se produce un incremento importante de la temperatura registrada por la estación rural. Esto puede deberse al importante crecimiento de la ciudad, que ha acabado influenciando los registros de la estación rural, un problema que surge en el estudio de series antiguas³⁷. y que ya señalan. Además, hacen un análisis del ritmo diario y estacional de la ICU, detectando una mayor intensidad del fenómeno durante el día (de 07h a 21h) y durante la época invernal. También observan el fenómeno en relación al viento, registrando una mayor intensidad de la ICU cuanto menor es sea su velocidad (menos de 2,5m/s).

Turquía

En este país existen diversos estudios sobre la ICU, principalmente referidos a las ciudades de Estambul y Ankara. Aunque no son numerosos, sí que hay también algún trabajo que estudia la evolución de las temperaturas de varias ciudades, algunas situadas en la costa mediterránea turca. En estos trabajos se hace referencia al concepto de la ICU, pero no se dan datos concretos de intensidades o configuración espacial en esas ciudades. Un primer trabajo³⁸ analiza las temperaturas y la precipitación de las cuatro principales ciudades del país, exceptuando Estambul y Ankara. Para ello se fijan en los datos registrados por 12 estaciones, cuatro de ellas urbanas y las demás rurales, durante el periodo 1951-1990. Las ciudades mediterráneas del estudio son Andana e Izmir. La primera ciudad se encuentra situada al sur de Turquía, próxima a la costa (30 km), con una población de 2.108.805 habitantes³⁹ y una superficie de 1.945 km². La segunda ciudad se encuentra en la costa oeste del país, en el golfo de Izmir, con una población de 3.965.232 habitantes y una superficie de 7.340 km². El estudio analiza las temperaturas mínimas y máximas y la registrada a las 21h, que es cuando consideran que se produce la ICU de forma más intensa. Los resultados muestran, en general, que los efectos urbanos se han dejado notar más en las temperaturas registradas a las 21h que en las mínimas, mientras que no han detectado efectos sobre las precipitaciones. En Andana, se comprueba cómo la mínima urbana registra un mayor incremento respecto a la rural, mientras que en Izmir es la temperatura media diaria la que muestra el mayor cambio. Si bien no se dan datos concretos sobre las intensidades de las ICU, sí se realiza una correlación de la máxima intensidad y la población; de este modo se observa cómo la máxima intensidad en Andana está alrededor de los 6°C y en Izmir de los 8°C.

Un segundo trabajo⁴⁰ similar al anterior, estudia las temperaturas de ocho ciudades de la península de Anatolia a partir de 25 estaciones meteorológicas (9 urbanas y 16 rurales) para el periodo 1965-2006. Entre las ciudades estudiadas, dos son ciudades mediterráneas: Izmir y Mersin. Mersin, situada al sur de Turquía, tiene una población de 1.667.939 habitantes y una superficie de 15.853km². Al igual que en el trabajo anterior no dan datos concretos sobre la ICU, pero realizan una correlación de la máxima intensidad de la ICU y la población. Aquí se

³⁶ Theophilou y Serghides, 2014.

³⁷ Ya señalado en Quereda *et al.*, 2007.

³⁸ Tayanç y Toros, 1997.

³⁹ Los datos de población de este apartado son según datos del 2012 del Instituto Turco de Estadística.

⁴⁰ Kindap *et al.*, 2012.

puede observar cómo la máxima intensidad en Mersin se sitúa en torno a los 7°C y entorno a los 8°C en Izmir, como ya señaló el estudio anterior de Tayanç y Toros. Las correlaciones muestran cómo ambas ciudades presentan un comportamiento similar al de ciudades europeas⁴¹. También se observa que las temperaturas mínimas urbanas han registrado un importante incremento en ambas ciudades. En general, para el conjunto de las ocho ciudades, se señala que en 1965 no existían diferencias entre las temperaturas mínimas registradas en las estaciones urbanas y rurales, pero en 1985 las diferencias pasan a ser de 2°C y en 2006 de 4°C. En Mersin, destaca cómo la temperatura media de la ciudad se ha incrementado en más de 2°C, atribuyéndolo al crecimiento urbano y a la presencia de la ICU.

Por último, se debe mencionar el único trabajo dedicado de forma exclusiva a una ciudad mediterránea en el país⁴². Éste utiliza imágenes térmicas de satélite, concretamente del Landsat 8, para analizar los valores térmicos de las superficies de la ciudad de Izmir, es decir, la ICUS. Los resultados muestran cómo el sector industrial, situado en los suburbios, y las áreas urbanas próximas a éste es donde se localizan los mayores valores térmicos (entre 36°C y 47°C). La polución que genera su actividad y la construcción de las edificaciones, metálicas en su mayoría, parece ser la explicación. Destacan como este sector parece tener una influencia térmica sobre áreas situadas en un diámetro alrededor de entre 500m a 1.000m.

Líbano

Beirut, la capital del país, está situada en la mitad de la costa libanesa y tiene unos 400.000 habitantes⁴³ y una superficie de 21,47 km². Sobre esta ciudad existe una investigación donde se simula la ICU de la ciudad a partir del modelo de balance energético TEB (Town Energy Balance) de Meteo France, con la intención de identificar los parámetros urbanos que tienen un mayor impacto sobre la ICU y recomendar medidas de mitigación. Recientemente se han publicado los resultados preliminares de esta investigación⁴⁴ donde se explica cómo han identificado los parámetros urbanos y han realizado las simulaciones. En ésta no se caracteriza el fenómeno en la ciudad, pero se observan cómo las áreas vegetales tienen un importante efecto de frescor y pueden suponer una diferencia de la temperatura del aire de más de 6°C respecto a áreas urbanas durante el verano.

Israel

En Israel, existe un estudio⁴⁵ que analiza la temperatura de la superficie urbana y la temperatura ambiente al nivel del suelo y al nivel de los techos en la ciudad de Tel-Aviv. Ésta es la segunda ciudad más importante del país, localizándose en el sector central de la costa israelí, con una población de 403.700 personas⁴⁶ y una superficie de 51,4 km², aunque su región metropolitana aglutina una mayor población y superficie urbana. Conviene señalar que los autores utilizaron imágenes térmicas aéreas (helicóptero) para analizar la temperatura superficial y diseñaron cuatro transectos móviles a través de la ciudad que realizaban a diferentes horas del día (14h, 21h, 01h y 03h) para estudiar la temperatura a nivel del suelo. Emplearon también seis estaciones sobre los tejados distribuidas por diferentes zonas de la

⁴¹ Según la fórmula presentada en Oke, 1973.

⁴² Corumluoglu y Asri, 2015.

⁴³ Según datos de la Organización de Naciones Unidas para el año 2014.

⁴⁴ Kaloustian y Diab, 2015.

⁴⁵ Saaroni *et al.*, 2000.

⁴⁶ Según datos del 2010 de la Oficina de Estadísticas de Israel.

ciudad y tres estaciones meteorológicas rurales para comparar los valores. Los resultados, a nivel del techo, mostraron que la mayor intensidad de ICU se producía por la noche (entre las 00h y las 6h), siendo de 6,7°C. A nivel del suelo, la máxima intensidad registrada es de 5,5°C en los transectos realizados a la 01h. En ambos casos, detectaron la presencia de ICU, tanto de día como de noche, que presenta una especial intensidad nocturna. Observaron una importante diferencia térmica entre el centro y los suburbios del sudeste de la ciudad, situándose la ICU sobre el centro. La influencia marina se deja sentir en el centro de la ciudad de forma fresca, durante el día, y de forma cálida durante la noche. Una influencia, indican, que es mucho mayor a nivel del techo durante los días estables invernales y por la noche, traduciéndose en unas menores diferencias térmicas entre el centro y los suburbios. Las imágenes térmicas permiten observar una intensidad de ICU, en este caso superficial, mayor (entre los 10°C y los 5,6°C). También sirven para detectar varias fuentes de calor relacionadas con las diferencias entre el pavimento de las calles (asfalto) y con las diversas geometrías que presenta la trama urbana y el diferente factor de visión del cielo (SVF).

Egipto

Una investigación⁴⁷ analiza la ICU urbana en dos ciudades costeras egipcias a partir de imágenes térmicas. Las ciudades son Alejandría, a orillas del Mediterráneo, y Hurghada, en el Mar Rojo. Alejandría presenta un área urbana de 2.300 km² y casi 4 millones de habitantes, constituyendo un gran centro a nivel industrial al significar casi el 40% de la producción industrial del país. A través de cuatro imágenes (junio y diciembre de 2002; junio y diciembre 2012) del Landsat se estudia la temperatura superficial del suelo (*LST*), lo que permite observar la ICUS. El fenómeno se nota en las áreas más densamente pobladas de la ciudad y en las áreas industriales, especialmente donde se ubican industrias cementeras y petroquímicas. También se examinan las diferencias existentes entre verano e invierno en las máximas intensidades, lo que se atribuye a las variaciones en las actividades humanas. De este modo en verano se registra una mayor intensidad aquellos sectores de la ciudad más repletos por los visitantes y los residentes, mientras que en invierno los máximos valores se desplazan hacia los sectores que constituyen las principales arterias que conectan el centro de la ciudad con su región este.

Túnez

La ciudad tunecina de Sfax presenta dos estudios que tratan el tema de la ICU. Se trata de una ciudad ubicada en el sector sureste del país, con una importante actividad industrial y portuaria; tiene una población de 330.440 personas⁴⁸ y una superficie de 56 km². El primero⁴⁹ caracteriza espacialmente la ICU a partir del análisis de una imagen obtenida del NOAA-AVHRR el 12 de junio de 2002 y de datos obtenidos *in situ* a través de transectos móviles realizados durante seis salidas nocturnas. Los sectores más cálidos (entre 30°C y 26°C) se sitúan sobre las áreas industriales y el centro de la ciudad, mientras que los sectores más frescos (<22°C) están a las afueras de la ciudad y corresponden a residencias dispersas y campos de almendros y olivos. La configuración espacial de la ICU presenta una forma semicircular, limitada al este por el mar y al oeste por el campo. El máximo térmico se localiza en el centro de la ciudad, la Medina, y sectores residenciales de su alrededor, y la zona portuaria. También se observan manchas de calor sobre las dos áreas industriales más importantes de la ciudad, al noreste y al sudeste. En las áreas periféricas, sectores

⁴⁷ Abtualeb *et al.*, 2014.

⁴⁸ Según el Censo de 2014.

⁴⁹ Dahech *et al.*, 2005.

residenciales de baja densidad con la presencia de jardines, la temperatura va descendiendo de forma rápida, presentando una diferencia de 7°C respecto al centro urbano. Los datos de los transectos móviles mostraron una intensidad máxima de la ICU de 8°C. Posteriormente, un nuevo trabajo⁵⁰ amplía el anterior. En éste se emplea el método de los transectos móviles y el análisis de imágenes de satélite para determinar la ICU. Entre marzo de 2003 y septiembre de 2006, tres equipos realizaron siete salidas nocturnas bajo unas condiciones de calma y cielo despejado entre las 2h y las 3h. Las imágenes de satélite las obtienen del NOAA-AVHRR, adquiriendo algunas del periodo 1982-2007. Los resultados muestran una ICU más frecuente los días soleados, durante el verano y bajo la influencia del anticiclón de las Azores. En parques y áreas poco edificadas, pueden formarse pequeñas islas de frescor. El máximo térmico suele darse en la Medina, en pleno centro histórico de la ciudad. Las intensidades de la ICU suelen situarse entre 4,5°C y 7,5°C. Además, aparece la presencia de una isla de calor local sobre el aeropuerto, en especial por la noche. Otro aspecto destacado es cómo la extensión de la ICU se ha visto incrementada desde el año 1982, lo que ligan al fenómeno de crecimiento urbano de la ciudad. También se realiza un análisis de la evolución de la temperatura máxima y mínima del observatorio de la ciudad para el periodo 1950-2007, observando un significativo incremento, especialmente en las mínimas (0,38°C por década) y durante la época cálida.

Italia

En Italia existen varios estudios en su capital. Roma está ubicada en la zona occidental del sector central de Italia, próxima al Mediterráneo. Constituye la cuarta ciudad más poblada de Europa con 2.874.038 habitantes⁵¹, y tiene una superficie de 1.285,31 km². En la ciudad hay dos estudios antiguos sobre la ICU, el primero⁵² analiza la temperatura del aire, la humedad y el viento sobre la ciudad de Roma durante el verano (días 28 y 29 de junio de 1977). Este análisis permite observar cómo la ICU aparece de forma clara notándose sus efectos a más de 300 metros de altura y alterando las corrientes de aire de mar a tierra; caracterizan, además, la temperatura del aire y la humedad hasta los 500m y las correlaciones existentes con el viento. El segundo trabajo⁵³ examina las series de temperaturas obtenidas de la red formada por nueve observatorios meteorológicos de la ciudad, tres urbanos y seis rurales, durante el periodo de 1964-1975. Los resultados determinan la presencia de la ICU en la ciudad, presentando diferencias, entre las estaciones urbanas y rurales, de las temperaturas máximas y mínimas según la estación del año.

Otro trabajo⁵⁴ comprueba la utilidad del uso de imágenes de satélite para estudiar las características espaciales de la ICU del área de Roma y las interacciones de ésta con el medio que la rodea. Para ello se analizan varias imágenes de satélite obtenidas desde el Landsat TM y el ERS-SAR. Del primero se analiza tres imágenes (4 de mayo de 1994, 15 de enero de 1995 y 26 de julio de 1995) y del segundo nueve obtenidas en 1992 (21 de enero, 17 de febrero, 15 de marzo, el 26 de mayo, 11 de junio, 16 de julio, 24 de septiembre, 29 de octubre y 17 de noviembre). La autora destaca cómo la combinación de las imágenes de ambos satélites con el NDVI (*Normalized Vegetation Index*) ofrece muchas oportunidades para el estudio de la ICU. Otro aspecto que también destaca es que las imágenes del Landsat TM resultan más convenientes para estudiar los patrones temporales y espaciales, mientras que el

⁵⁰ Dahech y Beltrando, 2012.

⁵¹ Todos los datos poblacionales de este apartado son según el ISTAT para el año 2014.

⁵² Colacino, 1980.

⁵³ Colacino y Cavagnini, 1982.

⁵⁴ Abatte, 1997.

ERS-SAR permite estudiar la temperatura del suelo y su comparación con la temperatura ambiente de mejor modo.

Una nueva investigación⁵⁵ utiliza estaciones meteorológicas e imágenes de satélite para examinar las características de la ICU de Roma. En total se analizan los datos de ocho estaciones (seis urbanas, una situada en un parque urbano y una rural) gestionadas por ARPA Lazio (Agencia Regional para la Protección Ambiental) que registran datos cada hora. Si bien en alguna estación el periodo de datos analizados comienza en 2001, en la gran mayoría es a partir de 2003 hasta el 2006. Las imágenes de satélite, en infrarrojo, las consiguen del sensor AATRS que está en el ENVISAT. En total se analizan 634 imágenes, diurnas (9h-10h) y nocturnas (20h-21h), entre 2003 y 2006. Antes de comentar los resultados, conviene indicar que los autores hablan de 3 tipos de IC: superficial, del palio urbano (ICPU) y de la capa límite urbana. Esto resulta importante porque al examinar los datos de las estaciones hablan de la intensidad de la ICPU. Una intensidad que comienza a incrementarse a partir del mediodía hasta alcanzar el máximo valor durante la noche, para después descender cerca del amanecer y presentar valores negativos durante la mañana. También detectan variaciones estacionales, ya que presenta valores más débiles en invierno y más elevados en verano. Las condiciones meteorológicas también afectan a la ICPU; el viento y las nubes tienden a debilitarla, mientras que las condiciones de calma atmosférica la fortalece. El análisis de las imágenes de satélite permite caracterizar espacialmente la ICU. Durante el día observan que el calor antropogénico generado por el tráfico es importante, mostrando los valores más elevados sobre las principales carreteras, en especial al sureste donde se sitúa una principal vía de distribución de tráfico. Durante la noche, en cambio, los valores máximos se localizan sobre las áreas urbanas más densamente edificadas, en el centro y este de la ciudad. Detectan la influencia de la brisa marina procedente del oeste (*Ponentino*) que desplaza un poco hacia el este el calor urbano y que ayuda a refrescar la ICPU nocturna.

Otro estudio⁵⁶ sobre la capital italiana se centra en el impacto que generaría la utilización de materiales en la ciudad como medida de mitigación de la ICU, especialmente en la demanda de energía relacionada con el aire acondicionado. Los autores determinan la intensidad estival de la ICU a partir de los datos obtenidos de cinco observatorios meteorológicos, registrados entre el 18 de julio y el 6 de septiembre de 2011, obteniendo una máxima intensidad de 4,5°C. Los datos térmicos les permiten estimar las temperaturas interiores de los edificios, comparando los de ámbito urbano y rural, y las necesidades de aire acondicionado que supondrá ésta. También examinan el calor generado por las superficies urbanas, observando cómo afecta a la temperatura ambiente en el espacio público y, por lo tanto, al confort climático de las personas, para acabar hablando de los claros beneficios, económicos y bioclimáticos, que puede significar la utilización de materiales fríos en el espacio urbano (techos, paredes y pavimentos).

En Bari, con una población de 320.146 habitantes y una superficie de 116 km², existen varios estudios que realizan una aproximación al fenómeno de ICU. Esta ciudad se localiza en el sector meridional del país, en la costa adriática. El primero⁵⁷ examina la relación entre la morfología urbana y la temperatura a partir de imágenes de satélite. Las imágenes son obtenidas del ASTER para el periodo de julio de 2001 a julio de 2006, tratándose de imágenes en infrarrojo durante el día. En este trabajo no dan datos concretos sobre la intensidad de la ICU, aunque su análisis sí que presenta algunas características espaciales del fenómeno. Los

⁵⁵ Fabrizi *et al.*, 2010.

⁵⁶ Fanchiotti *et al.*, 2010.

⁵⁷ Loconte *et al.*, 2012.

resultados muestran, de forma sorprendente, que la ICUS se encuentra invertida. De este modo los sectores más densamente poblados presentan valores más frescos que los sectores perimetrales de la ciudad. Esto es debido a que las imágenes analizadas se han tomado antes de las 10h, cuando las superficies urbanas, con una inercia térmica más baja, no han tenido tiempo de calentarse. Así que el análisis muestra, más bien, el patrón espacial de la isla de frescor que se produce por las mañanas en Bari, lo que puede significar que la máxima intensidad de la ICU se produce por la tarde o la noche. Otro trabajo⁵⁸ estudia la ICU a partir de la comparación de las temperaturas registradas de dos observatorios (aeropuerto y ciudad) durante el año 2010. Analiza las temperaturas mínimas, máximas y medias, examinando las variaciones medias y máximas que se producen entre ambos puntos. Los resultados muestran que es en las mínimas donde se producen las máximas diferencias, de 2-3°C de variación media (valor máximo en agosto) y de 4-6°C de variación máxima (valor máximo en mayo). Las temperaturas medias y máximas ofrecen unas variaciones similares. Los valores de máxima intensidad los registran por la noche, en especial en verano. Después de comprobar la presencia de la ICU, los autores pasan a realizar simulaciones del software ENVI-Met para observar las interacciones entre la superficie urbana, la vegetación y la temperatura del aire. Esto les ayuda a plantear una serie de consejos que deberían ser usados en la planificación urbana de la ciudad para mitigar los efectos negativos del fenómeno.

Varios trabajos⁵⁹ se han desarrollado en la ciudad de Padua. Dicha ciudad se ubica en el nordeste de Italia, con una superficie de 92 km² y una población de 213.634 habitantes. Existe una publicación⁶⁰ que resume las investigaciones realizadas en Padua, recogiendo los datos de dos campañas de medidas realizadas en 2010 y 2011 a partir de la técnica de transectos por dos estudiantes para su tesis sobre la ICU en la ciudad y que tiene continuidad en 2012 a través de un proyecto de investigación financiado por la Unión Europea, desarrollado por la Universidad de Padua y Co.Ri.La (Venecia). En 2012, además de continuar con la recogida de datos a través de los transectos móviles, se incorpora el análisis de los datos para el período 1994-2011 de dos estaciones meteorológicas (urbana y rural) del ARPAV (Agencia Regional de Protección Ambiental del Veneto). Conviene señalar que durante los recorridos de los transectos se registraban: la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar global y la velocidad del viento. La primera campaña se realizó los meses de julio y agosto de 2010 en doble sesión, diurna (de 12h a 13.30h) y nocturna (entre 3 y 5 horas después de la puesta del sol); la segunda campaña se efectuó los meses de abril y mayo de 2011 (30 jornadas), cambiando los recorridos utilizados en la anterior campaña; la tercera se produce entre el 26 de julio y el 8 de septiembre de 2012, variando de nuevo los recorridos y con un equipo más sofisticado. Los resultados de la campaña de 2010 muestran una intensidad máxima de 2°C, localizándose el máximo térmico en el Prato della Valle⁶¹. Consideran que la localización en esta gran plaza (la segunda más grande en Europa, después de la plaza Roja de Moscú) resulta extraña debido a la presencia de masas acuáticas y superficies verdes, lo que conducía a pensar en lo contrario. Sin embargo, achacan este comportamiento anómalo al hecho de tomar las temperaturas en el perímetro de la plaza y no en su interior. En la segunda campaña, detectan una intensidad máxima de 5°C, ubicándose el centro térmico de la ICU en el centro histórico de la ciudad. El efecto de ICU se muestra más intenso por la noche, mientras que por las mañanas es débil o inexistente, tal como también sucede en la primera campaña. De la última campaña destaca la intensidad máxima, que

⁵⁸ Selicato y Cardinale, 2014.

⁵⁹ Busato *et al.*, 2014; Noro *et al.*, 2014a y 2014b; Noro y Lazzarin, 2015.

⁶⁰ Busato *et al.*, 2014.

⁶¹ Se puede observar el impacto que tendrían varias medidas de mitigación en esta plaza en Noro y Lazzarin, 2015.

supera los 6°C, y la incorporación de medidas in situ de lugares considerados de interés por los autores. Respecto al análisis de los datos de las estaciones meteorológicas, observan que la diferencia anual media entre la estación urbana y rural es de 0,5°C, lo que significa una intensidad de ICU débil. No obstante, en la comparación de las temperaturas mínimas detectan una diferencia algo más importante, 1,5°C (alcanzando en julio los 2°C). Por último, algunos de los trabajos⁶² incorporan la simulación, mediante los modelos RayMan y ENVI-met, de los efectos beneficiosos que tendría la implantación de diferentes medidas de mitigación.

Cerca de Padua se encuentra Venecia, con una población de unas 270.000 personas y una superficie de 414,6 km², donde también existe un estudio sobre la ICU⁶³. Éste se realiza en la parte continental de la ciudad, en el sector de Mestre. Mediante los datos de tres observatorios urbanos y uno, suburbano, se analizan los datos térmicos entre las 9 p.m. y las 3 a.m. desde el 1 de julio al 31 de agosto de 2012. La intensidad media de la ICU registrada es de más de 4°C, llegando a una intensidad máxima de 7,3°C el 21 de agosto. Además, se selecciona un sector de unas 6Ha con usos mixtos (residencial, comercial, un mercado, un hotel y un edificio universitario) para evaluar los impactos que podría tener la implantación de medidas de mitigación. Los autores utilizan el software ENVI-met en la simulación de 3 escenarios para observar la temperatura que presentaría el sector en cada uno de ellos: el primero sería si todo sigue igual (32,5°C-34,9°C), el segundo, utilizando materiales fríos (28°C-29°C), y el tercero, combinando los materiales fríos con el incremento de las superficies verdes (27°C-28°C).

Por último, conviene hacer mención a una investigación⁶⁴ en la provincia de Nápoles donde se estudia la relación entre la estructura urbana y la generación de la ICU. La provincia de Nápoles se sitúa al sur del país en la costa este y está formada por 92 municipios con un total de 3.129.354 habitantes, destacando las importantes densidades demográficas que presentan gran parte de estos municipios. Dicha investigación se realiza a partir del análisis de imágenes térmicas captadas por el sensor MIVIS durante diversos vuelos realizados entre el 28 de junio y el 27 de julio de 2005. El análisis de las imágenes permite identificar las zonas urbanas de la provincia donde se produce el efecto ICU, para después seleccionar ocho sectores ubicados en diferentes emplazamientos (interiores, costeros, en una llanura, con una orografía más complicada...) para realizar un estudio en más detalle de sus estructuras urbanas. A grandes rasgos, se observa importantes diferencias entre las superficies urbanas (por encima de los 50°C) y las de sus alrededores (por debajo de los 36°C), lo que indican unas intensidades significativas de la ICUS. También detecta el efecto mitigador que ejercen las áreas verdes urbanas, que presentan temperaturas superficiales menores que las superficies urbanas de su alrededor. Por último, se señala el efecto térmico marítimo, al detectar una mayor oscilación en la diferencia de temperaturas de la superficie urbana en sectores interiores, mientras que en sectores costeros la oscilación es menor.

Francia

En la costa francesa no se ha encontrado ninguna investigación que trate la ICU en el ámbito mediterráneo. No obstante, dentro de una investigación del clima urbano de Marsella, existe una breve parte dedicada a analizar la distribución espacial de la temperatura⁶⁵. Esto permite tener una caracterización espacial de la ICUS. La investigación se inscribe dentro de la

⁶² Noro *et al.*, 2014 y 2015

⁶³ Peron *et al.*, 2015.

⁶⁴ Stanganelli y Soravia, 2012.

⁶⁵ Mestayer *et al.*, 2005.

campana ESCOMPTE (acrónimo en francés) que se produjo entre el 4 de junio y el 16 de julio de 2001, en el sudoeste de Francia. Los autores aprovecharan la campana para realizar un estudio sobre la capa límite urbana (*urban boundary-layer*). Marsella es una importante ciudad portuaria al sur del país, siendo la ciudad más poblada de la costa mediterránea francesa con 850.636 habitantes⁶⁶ y una superficie de 240,62km². En lo referente a la ICUS, analizan imágenes infrarrojas obtenidas del NOAA-AVRHH, lo que les permite observar que las máximas temperaturas se localizan sobre la zona industrial de Marignane, presentando una diferencia de más de 12°C respecto a las áreas más frescas. Detectan también una diferencia de entre 1,5°C-3,5°C entre las zonas más densas y los parques situados en sus proximidades, lo que confirma el efecto de frescor que ejercen los espacios verdes en las ciudades. Asimismo, perciben diferencias térmicas entre sectores residenciales que presentan mayor o menor presencia de vegetación. Los datos de dos observatorios meteorológicos (urbano y suburbano) muestran una diferencia térmica media de 2°C, por la noche, y de 3°C, por la tarde.

España

En nuestro país, existen diversos estudios de la ICU en la costa mediterránea. Uno destacable es el de Barcelona⁶⁷, la ciudad más poblada de la costa española. A partir de la comparación de las series de datos (periodo 1970-1984) entre dos observatorios (aeropuerto y urbano) y la utilización de recorridos móviles, durante 54 salidas entre octubre de 1985 y julio de 1987, Moreno estudia las características de la ICU en el área metropolitana de Barcelona. La capital catalana, cuenta con 1.602.386 habitantes⁶⁸ en sus 102,15 km². No obstante, la conurbación urbana es mucho mayor y agrupa a un número mayor de habitantes. Moreno, observa que durante el día el centro de la ciudad es ligeramente más fresco que su perímetro menos urbanizado. La ICU muestra unas intensidades máximas que pueden llegar a superar los 8°C. En la mayoría de casos, presenta una configuración concéntrica, ubicándose el centro térmico sobre el sector del l'Eixample Dret. Destaca que el máximo tiene una cierta migración estacional; durante la época fría éste se ubica sobre l'Eixample Dret y la parte alta del casco antiguo, mientras que en la época cálida se desplaza hacia el extremo nordeste del l'Eixample Dret prolongándose por el eje de la Meridiana y la Verneda. Esta migración puede atribuirse al efecto suavizador marino, durante la época fría, y las brisas marinas del sudoeste, que soplan con regularidad, en la época cálida. Respecto a las situaciones meteorológicas, la autora señala que las altas presiones favorecen la mayor intensidad de la ICU, mientras que la mayor nubosidad y velocidad del viento disminuye la intensidad del fenómeno. También hay un artículo publicado en inglés⁶⁹ con un resumen de la investigación y avances preliminares del trabajo⁷⁰. Existen dos trabajos más recientes sobre Barcelona, donde también participa Moreno. En el primer trabajo⁷¹ realizan una nueva campana de recogida de datos en la ciudad, utilizando los mismos transectos del trabajo anterior de Moreno⁷², entre septiembre de 1999 y marzo de 2000. Su objetivo es comparar los resultados de ambos trabajos, para ver si la ICU se ha visto modificada por la importante reforma que experimentó la ciudad debido a las Olimpiadas de 1992. Tras el análisis de los datos de los dos periodos observan que no se ha producido ningún cambio en la intensidad del fenómeno de la Barcelona Preolímpica y la

⁶⁶ Según el Censo de 2011.

⁶⁷ Moreno, 1993.

⁶⁸ Los datos de población del apartado son según el Padrón continuo del INE para el año 2014.

⁶⁹ Moreno, 1994.

⁷⁰ Carreras *et al.*, 1990, y Martín-Vide y Moreno, 1992.

⁷¹ Martín-Vide *et al.*, 2003.

⁷² Moreno, 1993.

Postolímpica. En el segundo trabajo⁷³ analizan las intensidades de la ICU obtenidas por Moreno⁷⁴ relacionándolas con la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO), observando cómo bajo condiciones de advecciones del noroeste se producen episodios de intensidad elevada de ICU (igual o superior a 5°C).

En la ciudad de Tarragona existe un único estudio sobre el fenómeno⁷⁵. La ciudad presenta una población de 132.199 habitantes y una superficie de 62 km². El método utilizado por la autora en su investigación será la comparación de datos registrados por dos observatorios, uno en la ciudad y el otro en el aeropuerto de Reus, analizando las temperaturas máximas, mínimas y medias diarias registradas entre 1960 y 1984 (2.281 días). Los resultados muestran que durante el día se registran unas leves diferencias entre el observatorio no urbano y el urbano, siendo ligeramente más cálido el no urbano. Esto cambia con la puesta de sol, donde el observatorio urbano muestra unos valores térmicos más elevados. Así observa la presencia de la ICU en la ciudad y su carácter nocturno. También examina el diferente ritmo anual de la ICU, siendo invierno y otoño las estaciones donde mejor configurada aparece, mientras que en primavera y verano se reduce su presencia e intensidad. En general, es en invierno cuando se forma y se desarrolla más frecuentemente la ICU en Tarragona. Esto se debe a la mayor liberación de calor derivada de los múltiples focos urbanos y la industria petroquímica. En otoño y primavera, los caracteres dinámicos de ambas estaciones determinan una mayor incidencia de las situaciones atmosféricas que se producen, inhibiendo la formación de la ICU. Por último, en verano el régimen de brisas nocturnas y diurnas en la ciudad reducen los contrastes térmicos debilitando la intensidad de la ICU y desdibujando su configuración.

Siguiendo en Cataluña, en la obra coordinada por López Gómez⁷⁶ se hace una breve referencia al fenómeno en Hospitalet del Llobregat. Esta es la segunda ciudad más importante de la conurbación urbana de Barcelona, con 253.518 habitantes y una superficie 12,5 km². La ICU de Hospitalet muestra una intensidad máxima de 4,4°C y una intensidad media de 2,2°C. Parece ser que los anticiclones y los pantanos barométricos intensifican la ICU. Mataró, capital de la comarca del Maresme, situada a 30 km de Barcelona, con una población de 124.280 habitantes y una superficie de 22,53 km² presenta un estudio sobre la ICU⁷⁷. En este trabajo el método utilizado fue el de los transectos, efectuando 11 salidas nocturnas entre abril y mayo de 1997. Se registró una máxima intensidad de 5,5°C y una mínima intensidad de 1,5°C, siendo la intensidad media de 3,1°C. Las situaciones anticiclónicas parecen más favorables para el desarrollo de la ICU en la ciudad, advirtiendo también que las brisas marinas pueden modificar las características de la ICU.

De la costa valenciana, situada en el sector este del país, hay estudios sobre Castellón, Valencia, Alghemesí y Alicante. Castellón, situada a 70 km de Valencia en el norte de la costa valenciana, tiene 173.841 habitantes y una superficie de 107,5 km². En esta ciudad se realiza un estudio del efecto urbano (ICU) a partir del estudio de las temperaturas medias, máximas y mínimas de tres estaciones meteorológicas automáticas (una urbana, una periférica y otra marítima)⁷⁸. Los autores analizan los datos registrados entre el mes de agosto de 2003 y el mes de septiembre de 2006. Las temperaturas medias muestran una diferencia de 2,5°C entre la estación urbana y marítima para el período estudiado. También muestra cómo la

⁷³ López Bustins *et al.*, 2006.

⁷⁴ Moreno, 1993.

⁷⁵ Brunet, 1992.

⁷⁶ López Gómez, 1993.

⁷⁷ Pérez González y Pérez Jiménez, 1998.

⁷⁸ Quereda *et al.*, 2007.

temperatura urbana tiende a incrementarse en mayor medida que la periférica o la marítima, que muestra un pequeño descenso. Los resultados de las máximas, en época estival, presentan una notable diferencia entre las urbanas y las marítimas (5°C) debido a la influencia marina. Las máximas medias anuales muestran una diferencia de 3,8°C entre los datos urbanos y marítimos. Respecto a las temperaturas mínimas anuales, la mayor diferencia se registra entre la estación urbana y la periférica, situándose en 2,8°C. Además del análisis de los datos, realizan una interesante reflexión acerca de los problemas que puede originar el estudio del clima urbano a partir de los datos con series largas y antiguas, debido a que los observatorios, antes rurales, están siendo absorbidos por el crecimiento de las ciudades.

En la capital valenciana, localizada en la parte central del levante peninsular en el Golfo de Valencia, engloba a 786.424 habitantes en sus 134,65 km² de superficie. En Valencia existen dos trabajos a los que hacer mención. El más antiguo se realiza durante las noches del 27 y 28 de febrero de 1988 estudia la ICU en la ciudad⁷⁹. En esta investigación utilizan dos métodos, la técnica de los transectos y el análisis de imágenes térmicas del NOAA. A través de los transectos se registra una intensidad máxima de 3,4°C y el máximo térmico localizado cerca del puerto. Las imágenes de satélite muestran una intensidad máxima de 6°C, localizando el centro térmico en el centro de la ciudad. Así que al comparar los datos obtenidos con cada uno de los métodos, se observan algunas diferencias entre la máxima intensidad (2,6°C) y la localización del máximo térmico. El segundo trabajo⁸⁰ estudia el efecto del fenómeno en relación al confort climático, observando que en verano y en invierno el fenómeno muestra una mayor intensidad nocturna llegando a intensidades de 3°C, de promedio, especialmente en invierno. La ICU diurna se muestra débil, presentando unas intensidades en torno a 1°C. También destaca cómo la ICU afecta al disconfort térmico, sobre todo en verano por el calor seco. Por último, señala cómo los vientos predominantes, del sureste, refrescan los barrios marítimos, mientras que los más interiores, al noroeste de la ciudad, se recalientan debido a que el viento es frenado por los obstáculos urbanos.

En la pequeña ciudad de Algemesí, con una población de 27.808 personas y una superficie 41,5 km², situada a 32 km de Valencia, colindando con el Parque Natural de l'Albufera, existe un interesante trabajo sobre la ICU⁸¹. El interés del trabajo radica en la aplicación didáctica que propone y la experiencia que presenta con los alumnos de secundaria de Ciencias Sociales. A través del estudio de la morfología urbana de Algemesí y los elementos singulares de ésta, se diseñaron 18 puntos de medición distribuidos por la ciudad. En estos puntos se recopilan los datos térmicos a partir de la realización de mediciones en tres momentos del día (17h, 23h y 5h). Los datos eran registrados por los alumnos que hacían el recorrido a pie tomando los datos, a la ida y a la vuelta, anotándolos en una ficha. Debe señalarse que los trazados de los recorridos que realizaban los diferentes grupos de alumnos fue consensuado entre ellos. Los resultados de las mediciones de las 17h detectaron una ICU de una intensidad de 3,2°C, cuyo centro térmico se ubicaba en el centro histórico de la ciudad. Las mediciones de las 23h mostraron como el centro térmico se desplazaba al norte, respecto al observado a las 17h, hacia el centro físico de la ciudad con una morfología típica de ensanche y la intensidad registrada era de 4°C. A las 5h la ICU detectada, mantenía su máximo en el centro físico de la ciudad y su intensidad era de 3,4°C. Así, el estudio permite identificar la formación de la ICU en la ciudad de Algemesí en diferentes momentos del día, observando que su máxima intensidad se produce por la noche y es de 4°C.

⁷⁹ Caselles *et al.*, 1989 y 1991.

⁸⁰ Pérez Cueva, 2001.

⁸¹ Ramiro, 2006.

Alicante, localizada al sur de Valencia, a 161 km de Valencia, es la segunda ciudad más poblada de la comunidad con 332.067 habitantes y una superficie de 201,27 km². El estudio⁸² existente en la ciudad supone una primera aproximación a la localización del máximo térmico y la configuración de su ICU. El autor utiliza el método de los transectos para recopilar los datos térmicos, durante 10 días entre diciembre de 2012 y mayo de 2013. Los resultados determinan la existencia de la ICU, con una intensidad máxima de 7°C y una intensidad media de 4,5°C. También destaca la presencia de tres morfologías del fenómeno: la ICU fuerte, cuando la intensidad supera los 5°C (la intensidad media de los casos dentro de esta categoría es de 5,4°C); la ICU débil, cuando presenta una intensidad menor a 4°C; o la ICU desplazada, cuando la configuración espacial muestra un desplazamiento hacia los sectores industriales del oeste de la ciudad, donde se registran valores térmicos elevados, próximos a los del máximo térmico.

Finalmente, en las Islas Baleares se han realizado varias investigaciones. En la capital, Palma de Mallorca, emplazada en el sector occidental de la isla de Mallorca, con 399.093 habitantes y una superficie de 208,33 km², existen dos trabajos. El primero⁸³ permitió observar la existencia de la ICU en la ciudad de Palma de Mallorca. El estudio fue programado como un ejercicio práctico para los estudiantes de Física de Medio Ambiente de la Universidad de las Islas Baleares. Diseñaron una red de 51 puntos de medición donde, distribuidos por grupos, los alumnos realizaron mediciones in situ (un total de siete campañas de toma de temperaturas entre el 13 de noviembre y el 25 de junio de 1999). Registraron una intensidad máxima del fenómeno de 7,4°C, observando las mayores temperaturas en el centro antiguo y su disminución, a excepción de algunas perturbaciones localizadas en espacios sin urbanizar (torrentes o espacios verdes), de forma radial respecto al centro, en forma del abanico que la ciudad conforma. El segundo trabajo, estudia el fenómeno de la ICU en la barriada del Coll d'en Rabassa, en la parte sur del municipio de Palma de Mallorca. Se trata de un trabajo al que en 2013 el Colegio Oficial de Geógrafos le otorgó el primer Premio para estudiantes universitarios del Grado en Geografía de la UIB. El trabajo desarrollado por Daniel Capó Esteve se titula *Estudi de l'illa de calor a un nucli urbà costaner. Es Coll d'en Rabassa*; en él constata que durante la primavera se establece una diferencia térmica máxima de 2,8°C entre el núcleo urbano del Coll d'en Rabassa y su entorno rural inmediato⁸⁴. Un máximo que coincide geográficamente con los sectores que presentan un tráfico intenso, verificándose también el efecto del viento como moderador de las temperaturas.

La ciudad de Inca también tiene una investigación sobre la ICU⁸⁵. Esta ciudad situada en el centro-norte de la isla de Mallorca a los pies de la Sierra de Tramuntana, tiene una población de 30.625 personas y una superficie de 58,34 km². El autor estudia la ICU nocturna mediante la utilización de la técnica de los transectos. La campaña se desarrolla entre enero y octubre de 2007 durante un total de 23 salidas. Los resultados manifiestan la existencia de una ICU nocturna en Inca que se produce en cualquier época del año. La intensidad máxima registrada es de 5,3°C. La configuración espacial presenta un centro térmico coincidente con el centro antiguo de la ciudad. En la investigación también examina el confort térmico en la ciudad a partir del índice de bochorno (*Heat index*). Los resultados muestran cómo en el mes de mayo

⁸² Martínez, 2014.

⁸³ Ramis *et al.*, 2002.

⁸⁴ Col.legi Oficial de Geògrafs de les Illes Balears, 2013.

⁸⁵ Troya, 2008.

se detecta por primera vez bochorno en el centro de la ciudad, alargándose el periodo hasta el mes de octubre.

En un trabajo posterior⁸⁶, además de volver a presentar los resultados para Inca, se estudia la ICU nocturna de otras cuatro poblaciones mallorquinas: Lluçmajor, Campos, Pollença y Sa Pobla. Durante el año 2012 se realizan una campaña de mediciones, constatando la aparición del fenómeno en todas las poblaciones y observando cómo las situaciones de estabilidad atmosférica con las que favorecen la formación de la ICU. Lluçmajor, situado en el centro de Mallorca, es el municipio más extenso de la isla con una superficie de 327,33 km² y una población de 34.602 habitantes. El caso presentado por los autores muestra cómo en la ciudad se produce una ICU con una intensidad de 6,7°C. Respecto a la configuración espacial de la ICU resulta destacable que el centro térmico se ubica al sur del centro de la población, cerca de las afueras, en un sector con edificaciones en altura y, por tanto, densamente poblado. Campos se localiza al sur de la isla y cuenta con 9.765 habitantes y una superficie de 149,69 km². En esta ciudad, el caso de estudio registra una intensidad de 3,1°C y una configuración caracterizada por la presencia de dos centros térmicos, al sur de la ciudad y en su centro, en dos áreas urbanas con una trama urbana similar. Pollença, con una superficie de 151,65 km², se emplaza en el noreste de Mallorca, entre la Sierra de Tramuntana y la bahía de Pollença, y tiene 16.088 habitantes. En el caso que presentan detectan una intensidad de 4,4°C, localizándose el máximo térmico en el casco antiguo. Sa Pobla, próxima a la bahía de Alcudia en el norte de la isla, presenta una superficie de 48,59 km², donde viven un total de 12.709 personas. En esta ciudad registran una intensidad de 3,6°C y el máximo térmico se encuentra al este del centro del núcleo urbano.

La ciudad de Ibiza cuenta, asimismo, con una investigación sobre la ICU⁸⁷. La capital de la isla de Ibiza se encuentra emplazada al este, con una población de 49.693 habitantes y una superficie de 11 km². Resulta conveniente señalar que el fenómeno urbano sobrepasa los límites municipales, extendiéndose por algunos sectores de municipios vecinos, especialmente por el sector litoral. El trabajo es una primera aproximación al estudio del fenómeno de la ICU en la ciudad. Dos son las hipótesis de partida que se quieren comprobar: la primera es la existencia del fenómeno y la segunda, que éste una mayor intensidad estival debido a la mayor actividad económica que se da en verano por la temporada turística. Los datos se recopilan mediante el método de recorridos móviles durante 31 jornadas en dos campañas (invernal y estival). La primera campaña transcurre entre diciembre de 2005 y enero de 2006, mientras que la segunda se realizó entre julio y agosto de 2006. Esto permite determinar la formación del fenómeno en la ciudad, comprobándose así la primera hipótesis. La ICU presenta una intensidad promedio de 3,2°C y una intensidad máxima de 6,4°C (registrada en verano). Se observan dos diferencias térmicas según la época del año, la principal está en que la intensidad máxima es casi 1°C más cálida en verano, mientras que la segunda es que la intensidad media estival es 0,2°C más cálida que la invernal. De esta forma queda comprobada la segunda hipótesis. También se cartografiará por primera vez la configuración del fenómeno, mostrando algunas variaciones dependiendo la época del año. En general, el centro térmico coincide con el sector central de la ciudad, el de mayor densidad. Este centro térmico suele presentar una menor superficie en invierno, mientras que en verano la superficie es mayor alcanzando algún barrio turístico. También se observa que las carreteras, que unen la ciudad con otros núcleos de la isla, desempeñan un papel de corredor que facilita la entrada del calor urbano en el entorno rural. Finalmente, los núcleos urbanos satélites a la ciudad dejan notar su influencia urbana en el medio donde se ubican.

⁸⁶ Troya y Capó, 2012.

⁸⁷ Serra, 2007.

Conclusiones

Los numerosos estudios reseñados muestran una importante producción científica sobre la ICU en el ámbito mediterráneo. Los países donde existen un mayor número de trabajos son Grecia y España. Sorprende la no existencia de trabajos en ciudades costeras francesas y los pocos existentes en las italianas. Esto puede ser debido a que quizás no se hayan encontrado los canales adecuados de búsqueda y a la no publicación de trabajo en revistas internacionales. En la costa africana tampoco hay muchos estudios. Cabe mencionar algún trabajo⁸⁸ que analiza la evolución de la temperatura en los observatorios urbanos en varias ciudades del Mediterráneo, entre las que se encuentran las ciudades africanas de Alger, Trípoli y Alejandrina, pero también las ciudades mediterráneas de Malta, Beirut, Jerusalén o Latakia. Donde se observa un importante vacío, ya que no existen investigaciones, es en la costa de los países de la antigua Yugoslavia, tan solo en Croacia⁸⁹ se ha encontrado un trabajo que trata sobre el uso de materiales fríos para mitigar la ICU en Rijeka pero sin determinar su presencia, ni caracterizarla.

Respecto a las ciudades, Atenas es la que muestra un mayor número de estudios y de temática más diversas. En esta ciudad se ha observado un grupo de expertos consolidado que han ido estudiando la ICU utilizando diversos métodos y centrándose en diferentes aspectos. Conviene señalar que hay estudios en ciudades de diferentes tamaños (grandes, medianas, pequeñas), de diferentes rangos administrativos (capitales de país, capitales provinciales, capitales regionales...) y donde dominan diferentes actividades económicas (portuarias, industriales, turísticas...).

Los principales métodos que han utilizado los investigadores han sido la comparación de observatorios meteorológicos, los transectos móviles y las imágenes térmicas obtenidas desde sensores remotos. La comparación de datos de observatorios (urbano-rural) ha servido para examinar la evolución de las temperaturas (máxima, mínima y media) y analizar el impacto urbano sobre éstas, evaluando la posible incidencia en el cambio climático y para poder determinar la intensidad de la ICU y observar su relación con diferentes parámetros meteorológicos. Resulta importante señalar que donde se ha mostrado de forma más clara el impacto urbano ha sido en la evolución de las temperaturas mínimas. Los transectos móviles han servido para realizar recogida de datos sobre el terreno a través de la ciudad, pudiendo analizar la intensidad de la ICU y cartografiar su configuración espacial. El uso de imágenes térmicas, especialmente indicada para el estudio de la ICUS, obtenidas desde diferentes satélites, se ha empleado para estudiar los patrones espaciales de los valores térmicos en la ciudad y sus alrededores. No obstante, hay que tener cuidado con que imágenes se trabaja, ya que las obtenidas por la mañana suelen mostrar unos valores más frescos en el área urbana y llevar al error de considerar que no existe la ICU. Así que resulta más indicado trabajar con imágenes tomadas a horas centrales o a varias horas del día. En diversos estudios se ha optado por la combinación de varios métodos y en alguno se han comparado para observar qué diferencias existían en los resultados obtenidos, o para complementar la información obtenida a través de varios métodos.

Las temáticas de las investigaciones también son diversas. La gran mayoría se centraban en determinar la presencia de la ICU y/o caracterizar el fenómeno. Una caracterización que tendía a mostrar su intensidad media, intensidad máxima, su ritmo anual (época del año), su ritmo diario (diurno o nocturno) y las situaciones meteorológicas que favorecen o dificultan la

⁸⁸ Aesawy y Hasanean, 1998, o Hasanean, 2001.

⁸⁹ Cuculic *et al.*, 2012.

formación y aparición de forma más o menos intensa. Otras perseguían caracterizar el fenómeno a partir, sobre todo, de la comparación de dos períodos contrapuestos, invierno y verano. También hay varias investigaciones que buscan caracterizar el fenómeno durante el verano, al considerar que es cuando mayor discomfort térmico para la población presenta y cuando mayor gasto energético supone. Relacionado con esto, existen diversas investigaciones que han tratado el tema de los impactos generados por la ICU sobre las personas (discomfort térmico o la calidad del aire urbano), los económicos (estimando el incremento del consumo energético durante el verano) o el ambiental (huella ecológica o la relación con el cambio climático). En algún estudio, sus autores se han centrado en aspectos más microclimáticos, como en edificaciones, y cómo la ICU afecta a éstos y a sus consumos energéticos. El uso de técnicas de red neuronal para la predicción de la ICU ha resultado un tema de interés, aunque tan solo se han trabajado en la ciudad de Atenas.

A partir de la revisión bibliográfica efectuada las características generales que muestra la ICU en las ciudades mediterráneas pueden resumirse en las siguientes:

Su mayor intensidad se produce durante la noche, mientras que durante el amanecer y las primeras horas de la mañana se producen valores negativos, ya que la ciudad se muestra más fresca que sus alrededores. Estos valores negativos conducen a hablar de isla de frescor matutina. Existe alguna excepción, como Hania, donde se produce durante el día, pero es debido a una influencia nocturna de vientos locales.

La mayor intensidad parece producirse durante el verano. Aquí también existen algunas excepciones, como en el caso de la mayoría de ciudades españolas. Aunque las intensidades medias puedan ser similares o algo superiores en invierno, las intensidades máximas sí se suelen registrar en verano. Esto puede ser atribuible a la mayor radiación solar que se produce y a situaciones meteorológicas que lo favorecen⁹⁰.

Las situaciones de altas presiones, con calma atmosférica y cielos claros, como los anticiclones, favorecen la formación de la ICU y su mayor intensidad. Unas situaciones que, en el Mediterráneo, suelen darse con mayor frecuencia en verano. En cambio, la presencia de nubosidad y la presencia de vientos de cierta intensidad reducen su formación. Giannaros y Melas⁹¹ señalan que cuando la velocidad del viento supera los 4m/s la intensidad de la ICU se reduce significativamente.

La configuración e intensidad de la ICU, en muchas ciudades, se ve influenciada por la brisa marina. Una influencia marina que se deja notar atenuando las temperaturas, refrescando durante el verano y calentando durante el invierno, o desplazando el centro térmico de la ICU. Ejemplos se encuentran en estudios realizados en Roma, Tel-Aviv, Barcelona o Alicante.

Los centros térmicos se suelen localizar en los centros históricos de las ciudades o sectores próximos a éstos que muestran una elevada densidad. Conviene indicar cómo en algunos estudios se observa un diferente comportamiento durante el día, donde los sectores más cálidos se sitúan sobre áreas industriales o las principales arterias de tránsito de la ciudad (por las mañanas), mientras que durante la noche, los sectores cálidos aparecen sobre la áreas residenciales más densas (centros urbanos). En alguna ciudad, además, se ha observado un diferente comportamiento estacional, como Alejandría e Ibiza.

⁹⁰ Tal como indican Vardoulaki *et al.*, 2013.

⁹¹ Giannaros y Melas, 2012.

Durante las noches de verano es cuando la ICU genera un mayor desconfort térmico para las personas, lo que se traduce en mayores demandas energéticas para contrarrestar ese desconfort, lo que genera una mayor emisión de gases de efecto invernadero.

Bibliografía

ABATTE, G. Heat island study in the area of Rome by integrated use ERS-SAR and Landsat TM. Papers in *The 3rd ERS Symposium*, 14-21 March, 1997, Florence, Italy. [En línea]. <<http://earth.esa.int/workshops/ers97/papers/abbate/>>.

-ABTUALEB, K.; ADELIN, N.; AHMED, F.; AHMED, M.H.; ELKAFRAWY, S.B.; ARAFAT, S.M. y DRWISH, A. Investigation of urban heat island using Landsat data. In *Proceedings of the 10th International Conference of African Association of Remote Sensing of the Environment*, 27-31 de octubre 2014, Johannesburg. [En línea]. <http://www.academia.edu/11407129/Investigation_of_Urban_Heat_Island_using_Landsat_data>.

ARNFIELD, A.J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, vol. 23, nº 1, p. 1-26.

AESAWY, A.M. y HASANEAN, H.M. Annual and Seasonal Climatic Analysis of Surface Air Temperature Variations at Six Southern Mediterranean Stations. *Theoretical and Applied Climatology*, 1998, vol. 61, nº 1, p. 55-68.

BRUNET, M. La magnitud y fluctuaciones de la isla de calor de Tarragona. *Tarraco*, 1992, nº 7, p. 19-29.

BUSATO, F.; LAZZARIN, R.M.; NORO, M. Three years of study of Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Sustainable Cities and Society*, 2014, vol. 10, p. 251-258.

CARRERAS, C.; MARÍN, M.; MARTÍN-VIDE, J.; MORENO, M.C. y SABÍ, J. Modificaciones térmicas en las ciudades. Avances sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 1990, nº 17, p. 51-77.

CASELLES, V.; LÓPEZ GARCIA, M.J.; MELIA, J. y PÉREZ CUEVA, A.J. (1989): El efecto de la isla térmica de la ciudad de Valencia obtenido a partir de transecto e imágenes NOAA-AVHRR. In ANTÓN-PACHECO, C. y LABRANDERO, J.L. (eds). *III Reunión Científica del Grupo de Trabajo de Teledetección*. Madrid: Instituto GeoMinero de España-Asociación Española de Teledetección, 1991, p. 259-269.

CASELLES, V.; LÓPEZ GARCIA, M.J.; MÉLIA, J. y PÉREZ CUEVA, A. J. Analysis of the heat island of the city of Valencia, Spain, through air temperature transects and NOAA satellite data. *Theoretical and applied climatology*, 1991, vol. 43, nº 4, p. 195-203.

COLACINO, M. Some observations of the urban heat island in Rome during the summer season. *Il Nuovo Cimento*, 1980, vol. 3C, nº 2, p. 165-179.

- COLACINO, M. y CAVAGNINI, A. Evidence of the urban heat island in Rome by climatological analyses. *Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser. B*, 1982, vol. 31, nº 1, p. 87-97.
- CORUMLUOGLU, O. y ASRI, I. The effect of urban heat island on Izmir's city ecosystem and climate. *Environmental Science and Pollution Sensing, Monitoring, Modelling and Remediation*, 2015, vol. 22, nº 5, p. 3202-3211.
- CUCULIC, M.; SURDONJA, S.; BABIC, S. y DELUKA TIBLJAS, A. Possible locations for cool pavement use in city of Rijeka. In *4th European Pavement and Asset Management Conference*, 5-7 de septiembre de 2012, Malmö, Suecia. [En línea]. <https://www.researchgate.net/publication/281646530_POSSIBLE_LOCATIONS_FOR_COOL_PAVEMENT_USE_IN_CITY_OF_RIJEKA>.
- DAHECH, D.; BELTRANDO, G. y BIGOT, S. Utilisation des données NOAA-AVHRR dans l'étude de la brise thermique et de l'îlot de chaleur. Exemple de Sfax (se tunisien). *Cybergeo: European Journal of Geography*. [En línea]. document 317, 8 de Agosto de 2005, <<http://cybergeo.revues.org/3132>> ISSN 1278-3366
- DAHECH, D. y BELTRANDO, G. Observed temperature evolution in the City of Sfax (Middle Eastern Tunisia) for the period 1950–2007. *Climatic Change*, 2012, vol. 114, nº 3, p. 689-706.
- DOMÍNGUEZ BASCÓN, P. *Clima regional y microclimas urbanos en la provincia de Córdoba*. Córdoba: Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba, 2002. 110 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Reducing Urban Heat Islands. Compendium of Strategies*. [En línea]. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, Octubre de 2008, <<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>>.
- FABRIZI, R.; BONAFONI, S. y BIONDI, R. Satellite and Ground-Based Sensors for the Urban Heat Island Analysis in the City of Rome. *Remote sensing*, 2010, vol. 2, nº 5, p. 1400-1415.
- FANCHIOTTI, A.; CARNIELO, E. y ZINZI, M. Impact of cool materials on urban heat island and on building comfort and energy consumption. Paper in *Proceedings of the American Solar Energy Society Conference*. 19-21 de Mayo de 2010, Phoenix, EE.UU. [En línea] <https://ases.conference-services.net/resources/252/2859/pdf/SOLAR2012_0176_full%20paper.pdf>.
- FERNÁNDEZ, F. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, 2009, nº49, p. 51-63.
- FOUNDA, D.; PIERROS, F.; PETRAKIS, M. y ZEREFOS, C. Interdecadal variations and trends of the Urban Heat Island in Athens (Greece) and its response to heat waves. *Athmospheric Research*, 2015, vol 161-162, p. 1-13.
- GAGO, E.J.; ROLDAN, J.; PACHECO-TORRES, R. y ORDOÑEZ, J. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 25, p. 749-758.

GIANNAROS, T.M.; MELAS, D. y KONTOGIANNI, P. An observational study of the urban heat island in the greater Thessaloniki area: preliminary results and development of a forecasting service. *AIP Conference Proceedings*, 2010, vol. 1203, nº 1, p. 991-996.

GIANNAROS, T.M. y MELAS, D. Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research*, 2012, vol. 118, p. 103-120.

GIANNAROS, T.M.; MELAS, D.; DAGLIS, I.A. y KONTOGIANNI, P. Development of an operational modeling system for urban heat islands: an application to Athens, Greece. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 2014, vol. 14, p. 347-358.

GIANNOPOULOU, K.; LIVADA, I.; SANTAMOURIS, M.; SALIARI, M.; ASSIMAKOPOULOS, M. y CAORIS, Y.G. On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*, 2011, vol. 1, nº 1 p. 16-28.

GOBAKIS, K.; KOLOKOSTA, D.; SYNNEFA, A.; SALIARI, M.; GIANNOPOULOU, K. y SANTAMOURIS, M. Development of a model for urban heat island prediction using neural network techniques. *Sustainable Cities and Society*, 2011, vol. 1, nº2, p. 104-115.

HADJIMITSIS, D.G.; RETAILS, A.; MICHAELIDES, S.; TYMVIOS, F.; PARONIS, D.; THEMISTOCLEOUS, K. y AGAPIOUS A. Satellite and Ground Measurements for Studying the Urban Heat Island Effect in Cyprus. In HADJIMITSIS, D.G. (ed). *Remote Sensing of Environment Integrated Approaches*. [En línea]. Rieja: InTech, 10 de julio de 2013. <<http://www.intechopen.com/books/remote-sensing-of-environment-integrated-approaches/satellite-and-ground-measurements-for-studying-the-urban-heat-island-effect-in-cyprus>> ISBN 978-953-51-1152-8.

HASANEAN, H.M. Fluctuations of surface air temperature in the Eastern Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 2001, vol. 68, nº 1, p. 75-87.

KALOUSTIAN, N. y DIAB, Y. Effects of urbanization on the urban heat island in Beirut. *Urban Climate*, 2015, vol. 14, Part 2, p. 154-165.

KANTZIOURA, A., KOSMOPOULOS, P. y ZORAS, S. Urban surface temperature and microclimate measurements in Thessaloniki. *Energy and Buildings*, 2012, vol. 44, p. 63-72.

KASSOMENOS, P.A. y KATSOULIS, B.D. Mesoscale and macroscale aspects of the morning Urban Heat Island around Athens, Greece. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2006, vol. 94, nº 1, p. 209-218.

KATSOULIS, B. D. y THEOHARATOS G.A. Indications of the urban heat island in Athens, Greece. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1985, vol. 24, p. 1296-1301.

KATSOULIS, B. D. Indications of change of climate from the analysis of air temperature time series in Athens, Greece. *Climatic Change*, 1987, vol. 10, nº 1, p. 67-79.

KERAMITSOGLU, I.; KIRANOUDIS, C.T.; CERIOLA, G.; WENG, Q. y RAJASEKAR, U. Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens,

Greece, using MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2011, vol. 115, nº 12, p. 3080-3090.

KINDAP, T.; UNAL, A.; OZDEMIR, H.; BOZKURT, D.; TURUNCOGLU, U. U.; DEMIR, G.; TAYAC, M. y KARACA, M. Quantification of the Urban Heat Island Under a Changing Climate over Anatolian Peninsula. In CHHETRI, N. (ed.). *Human and Social Dimensions of Climate Change*. [En línea]. Rijeka: InTech, 14 de noviembre de 2012. <<http://www.intechopen.com/books/human-and-social-dimensions-of-climate-change/quantification-of-the-urban-heat-island-under-a-changing-climate-over-anatolian-peninsula>>. ISBN 978-953-51-0847-4.

KOLOKOTSA, D.; PSOMAS, A.; KARAPIDAKIS, E. Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete. *Solar Energy*, 2010, vol. 83, nº 1, p. 1871-1883.

KOURTIDIS, K.; GEORGOULIAS, A.K.; RAPSOMANIKIS, S.; AMIRIDIS, V.; KERAMITSOGLOU, I.; HOOYBERGHS, H.; MAIHEU, B. y MELAS, D. A study of the hourly variability of the urban heat island effect in the Greater Athens Area during summer. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 517, p. 162-177.

LIVADA, I.; SANTAMOURIS, M.; NIACHOU, K.; PAPANIKOLAU, N. y MIHALAKAKOU, G. Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed. *Theoretical and Applied Climatology*, 2002, vol. 71, nº 3 p. 219-230.

LOCONTE, P.; CEPPI, C.; LUBISCO, G.; MANCINI, F.; PISCITELLI, C. y SELICATO, F. Climate Alteration in the Metropolitan Area of Bari: Temperatures and Relationship with Characters of Urban Context. *Computational Science and Its Applications – ICCSA*, 2012, vol. 7334 of the series Lecture Notes in Computer Science, p. 517–531.

LÓPEZ GÓMEZ, A. (coord.). *El clima de las ciudades españolas*. Madrid: Catedra, 1993. 268 p.

LOPEZ-BUSTINS, J.A.; MARTÍN-VIDE, J.; MORENO, M.C. y RASO, J.M. Urban heat island intensity in Barcelona and the western mediterranean oscillation. Panel in *The sixth International Conference on Urban Climate*, 12-16 de junio de 2006, Goteborg, Suecia. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona. <http://www.ub.edu/gc/Documentos/Lopez-Bustins_etal_IAUC06.pdf>.

MARTÍNEZ, J. Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 2014, nº 62, p. 83-99.

MARTIN-VIDE, J. y MORENO, M.C. Avance de resultados sobre la "isla de calor" de Barcelona y de otras ciudades catalanas. In *Energia, Medi Ambient i Edificació. VI Trobades científiques de la Mediterranea*. Barcelona: Col.lecció d'actes nº 14. Generalitat de Catalunya, 1992, p. 55-68.

MARTIN-VIDE, J.; MORENO, M.C. y ESTEBAN, P. Spatial Differences in the Urban Heat Island of the Preand the Post-Olympic Barcelona (Spain). In *Fifth International Conference on Urban Climate*, 1-5 de septiembre de 2003, Lodz, Polonia. [En línea]. <http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/P_2_10.pdf>.

MESTAYER, P.G. *et al.* The urban boundary-layer field campaign in Marseille (UBL/CLU-ESCOMPTE): Set-up and first results. *Boundary-Layer Meteorology*, 2005, vol. 114, nº 2, p. 315-365.

MIHALAKOU, G.; FLOCAS, H.A.; SANTAMOURIS, M. y HELMIS, C.G. Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island over Athens, Greece, Using Synoptic Types as a Predictor. *Journal of Applied Meteorology*, 2002, vol. 41, p. 519-527.

MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; CARTALIS, C. y TSANGRASSOULIS, A. Simulation of Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure and Applied Geophysics*, 2004, vol. 161, nº 2, p. 429-451.

MORENO, M.C. Bibliografía sobre Climatología urbana: la isla de calor I. *Revista Geográfica*, 1990, vol. 24, nº 1-2, p. 99-109.

MORENO, M.C. Unas notas históricas acerca de la Climatología urbana. *Notes de Geografía Física*, 1991-1992, nº 20-21, p. 137-141.

MORENO, M.C. Bibliografía sobre Climatología urbana: la isla de calor II. *Revista Geográfica*, 1992, vol. 26, nº 1-2, p. 111-119.

MORENO, M.C. *Estudio del clima urbano de Barcelona: la «isla de calor»*. Barcelona: Editorial Oikos-tau, 1993. 193 p.

MORENO, M.C. Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 1994, vol. 14, nº 6, p. 705-710.

MORENO, M.C. Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones geográficas*, 1997, nº 17, p. 89-97.

NORO, M. y LAZZARIN, R.M. Urban heat island in Padua, Italy: simulation analysis and mitigation strategies. *Urban Climate*, 2015, vol. 14, nº2, p.187-196.

NORO, M.; BUSATO, F. y LAZZARIN, R.M. Uhi in the city of Padua: simulations and mitigation strategies using the Rayman and Envimet model. *Geographia Polonica*, 2014a, vol. 87, nº4, p. 517-530.

NORO, M.; BUSATO, F. y LAZZARIN, R.M.(b). Urban heat island in Padua, Italy:

experimental and theoretical analysis. *Indoor and Built Environment*, 2014b, vol. 24, nº4, p. 514-533.

OKE, T.R. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, vol. 7, nº8, p.769-779.

PAPANASTASIOU, D. y KITTAS, C. Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. *Theoretical and Applied Climatology*, 2012, vol. 107, nº 3, p. 407-416.

- PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; SANTAMOURIS, M. y NIACHOU, K. The influence of wind speed on heat island phenomenon in Athens, Greece. *International Journal of Ventilation*, 2008, vol. 6, nº 4, p. 337-348.
- PÉREZ CUEVA, A.J. Clima y confort a les ciutats: la ciutat de València. *Mètode*. [En línea]. Valencia: Universidad de Valencia, Otoño de 2001, nº 31.
<<http://metode.cat/Revistes/Monografics/Existeix-la-ciutat-somiada/Clima-i-confort-en-les-ciutats-la-ciutat-de-Valencia>>. ISSN 2174-9191.
- PÉREZ GONZÁLEZ, C. y PÉREZ JIMÉNEZ, M. La isla de calor de Mataró. In FERNÁNDEZ, F. (Coord.). *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e Iberoamericanas*. Madrid: Parteluz, 1998, p. 293-304.
- PERON, F.; DE MARIA, M.M.; SPINAZZÈ, F. y MAZZALI, U. An analysis of the urban heat island of Venice mainland. *Sustainable Cities and Society*, 2015, vol. 19, p. 300-309.
- PHILANDRAS, C.M.; METAXAS, D.A. y NASTOS, P.T. Climate Variability and Urbanization in Athens. *Theoretical and Applied Climatology*, 1999, vol. 63, nº 1 p. 65-72.
- POUPKOU, A.; NASTOS, P.; MELAS, D. y ZEREFOS, C. Climatology of Discomfort Index and Air Quality Index in a Large Urban Mediterranean Agglomeration. *Water Air Soil Pollution*, 2011, vol. 222, nº 1, p. 163-183.
- QUEREDA, J.; MONTÓN, E. y ESCRIG, J. Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas. *Investigaciones Geográficas*, 2007, nº47, p. 5-17.
- RAMIRO, E. Una isla que se mueve. *Didáctica Geográfica*, 2006, nº 8, p. 33-55.
- RAMIS, C.; PERELLÓ, J. y GUAL, M. La isla de calor urbana en Palma de Mallorca. *Revista española de física*, 2002, vol. 16, p. 39-43.
- RIZWAN, A.M.; DENNIS, Y.C.L y LIU C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, vol. 20, nº 1, p. 120-128.
- SAARONI, H; BEN-DOR, E.; BITAN, A. y POTCHTER, O. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning*, 2000, vol. 48, nº 1-2, p. 1-18.
- SANTAMOURIS, M. Heat Island Research in Europe: The State of the Art. *Advances in Building Energy Research*, 2007, vol. 1, nº 1, p.123-150.
- SANTAMOURIS, M.; PARAPONIARIS, K. y MIHALAKAKOU, G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. *Climatic Change*, 2007, vol. 80, nº 3, p. 265-276.
- SELICATO, F. y CARDINALE, T. Energy aspects of urban planning. The urban heat island effect. *City Safety Energy*, 2014, nº1, p 79-91.

SERRA, J.A. Estudio de la isla de calor de la ciudad de Ibiza. *Investigaciones Geográficas*, 2007, nº 44, p. 55-73.

-STAMOU, A.; MANIKA, S. y PATIAS, P. Estimation of land surface temperature and urban patterns relationship for urban heat island studies. In *The 1st International Conference on "Changing Cities: Spatial, morphological, formal & socio-economic dimensions"*, 18-21 de junio de 2013, Skiathos, Grecia. [En línea]
<http://www.researchgate.net/publication/260244679_Estimation_of_land_surface_temperature_and_urban_patterns_relationship_for_urban_heat_island_studies>.

STANGANELLI, M. y SORAVIA, M. Connections between Urban Structure and Urban Heat Island Generation: An Analysis through Remote Sensing and GIS. In *Computational Science and Its Applications – ICCSA*, 2012, vol.7334 of the series Lecture Notes in Computer Science, p 599-608.

STATHOPOULOU, M., CARTALIS, C. y ANDRITSOS, A. Assessing the thermal environment of major cities in Greece. In *PALENC 2005 Conference Proceedings. Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment*. Santorini: PALENC2005, 2005, p. 108-112. [En línea].
<http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cpalenc%5C2005%5Cstathopoulou.pdf>.

STATHOPOULOU, M. y CARTALIS, C. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 2007, vol. 81, nº 3, p. 358-368.

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 2011, vol. 31, nº2, p. 200-217.

TAYANÇ, M. y TOROS, H. Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey. *Climate Change*, 1997, vol. 35, nº4, p. 501-524.

THEOPHILOU, M.K. y SERGHIDES, D. Heat island effect for Nicosia, Cyprus. *Advances in Building Energy Research*, 2014, vol. 8, nº1, p. 63-73.

TROYA, J.A. L'illa de calor nocturna a Inca. In *VIII Jornades d'Estudis Locals, Inca, 23 i 24 de novembre, 2007*. Inca: Ajuntament d'Inca. 2008, p. 165-173. [En línea].
<http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/jornadesEstudisLocalsIncaVolums/index/assoc/2007_Jor.dir/2007_JornadesEstudisLocalsInca_v08.pdf>.

TROYA, J.A. y CAPÓ, D. L'illa de calor nocturna a diversos nuclis de població a Mallorca. En ROYÉ, D. *et al.* (coord.). *XIII Coloquio Ibérico de Geografía. Respuestas de la Geografía Ibérica a la crisis actual*. Santiago de Compostela: Meubook, 2012, p. 1175-1187.

VARDOULAKIS, E.; KARAMANIS, D.; FOTIADI, A. y MIHALAKAKOU, G. The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy*, 2013, vol. 94, p. 128-144.

VOOGT, J. *How Researchers Measure Urban Heat Islands*. [En línea]. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, julio de 2007. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-07/documents/epa_how_to_measure_a_uhi.pdf>. [15 noviembre 2014].

© Copyright María del Carmen Moreno García, 2016.

© Copyright Juan Antonio Serra Pardo, 2016

© Copyright *Biblio 3W*, 2016

Ficha bibliográfica:

MORENO GARCÍA, María del Carmen; SERRA PARDO, Juan Antonio. El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 25 de noviembre de 2016, Vol. XXI, nº 1.179. <<http://www.ub.es/geocrit/b3w-1179.pdf>>. [ISSN 1138-9796].