

PONENCIAS

Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid.

Irina Tumini
GBC-España, Madrid
Irina.tumini@gbce.es

ABSTRACT

Uno de los efectos más conocidos debido a la urbanización es el aumento de calor local. La modificación de las condiciones microclimáticas, sobre todo en las condiciones de verano y en aquellos lugares caracterizados por su elevada temperatura, provoca problemas de confort tanto en los espacios exteriores como en los interiores, aumentando la demanda energética de refrigeración.

Si se suma el aumento de la temperatura local al incremento previsible por el cambio climático, en las ciudades se podrían crear condiciones de riesgo para la salud de sus habitantes, además de los problemas relacionados con el consumo y suministro energético.

En este trabajo de investigación se han estudiado las relaciones entre el diseño de los espacios urbanos y el efecto de isla de calor, aplicado al caso de Madrid. El objetivo principal es establecer la efectividad de las principales medidas correctivas que se pueden poner en práctica en un entorno urbano para reducir el efecto de isla de calor.

Para el desarrollo de este trabajo se han seleccionado tres estaciones de medición situadas en Madrid, que registran un diferente comportamiento climático local. De los casos de estudio se ha realizado un análisis de las temperaturas diarias registradas a lo largo del año, determinando para cada caso en qué medida la isla de calor afecta al microclima urbano.

INTRODUCCIÓN

La ciudad actúa como un factor modificador importante del clima local y crea unas condiciones medioambientales concretas, que podemos definir como microclima urbano. La diferencia de condiciones microclimáticas de los espacios urbanos frente a las zonas rurales es una de las consecuencias producida por el conjunto construido constituido por edificios, calles y superficies pavimentadas.

En los años 70 del siglo XX, a raíz de la crisis energética, con el “boom” de las fuentes renovables de energía, la arquitectura bioclimática, etc., se empezó a considerar el efecto que tiene el espacio construido con fines de reducción de la contaminación y conservación energética. Hoy en día, el problema del efecto invernadero, los temas de la ecología y de la sostenibilidad de los espacios, hacen que esta línea de investigación en el campo de la arquitectura y del urbanismo tome más fuerza. El control de las condiciones microclimáticas urbanas es fundamental tanto para la eficiencia energética y la reducción de las emisiones, como para garantizar espacios de vida confortables para los ciudadanos.

El clima urbano se define en términos de comparación con su entorno rural y a partir de estas diferencias entre ambos que podemos caracterizar el comportamiento de la ciudad, aunque cada ciudad conserve las condiciones climáticas características de la región en que se asienta. Sin embargo, en una

PONENCIAS

misma ciudad encontramos una gran diversidad de matices. Esto es consecuencia de la heterogeneidad en la morfología y estructura de los espacios construidos, que nos lleva a un análisis a escala local que corresponde a pequeños espacios y edificios.

Los rasgos más sobresalientes del microclima urbano se manifiestan en un aumento de la temperatura, en la reducción de la amplitud térmica diaria, en una peculiar distribución de los vientos de la ciudad, consecuencia del rozamiento con los edificios y encauzamiento en las avenidas, y en un balance hídrico diferente al existente en los espacios rurales (1). Las causas que generan este fenómeno son complejas y están relacionadas con el balance energético en los espacios urbanos debido a:

- la sustitución de las superficies vegetales por edificios y superficies impermeables como calles, plazas, etc.;
- la diferente respuesta a la absorción de los rayos solares de los materiales de acabado, debido a las características específicas como reflectancia, absorptividad e inercia térmica;
- el calor generado por fuentes antropogénicas, como las industrias, los edificios y los coches;
- la contaminación atmosférica.

La intensidad de la isla de calor urbana (Urban Heat Island, UHI) depende también de otros factores como el tamaño y la morfología urbana, la topografía, las actividades antrópicas y las características climáticas (viento, temperatura, inversión térmica, etc.).

En el espacio urbano se distinguen dos tipos de UHI, la superficial y la atmosférica, que se diferencian por los elementos que la generan, los métodos para identificarlas y medirlas, los impactos generados y, en algunos casos, las formas para mitigarlas. La isla de calor superficial se genera cuando las superficies de suelos, techos y fachadas registran una temperatura superior a la del aire. En general la isla de calor superficial se produce tanto por el día como por la noche, pero tiende a ser más fuerte por el día cuando el Sol está alto y el cielo está claro. Para identificar la isla de calor superficial normalmente se pueden emplear métodos de medición directos o indirectos, modelos numéricos o métodos de estimación empíricos. En muchos casos se recurre a técnicas de medición indirectas para estimar la temperatura superficial, obtenida con el soporte de mapas térmicos e imágenes radiométricas.

La isla de calor atmosférica se identifica con la diferencia de temperatura del aire entre las áreas urbanas y las rurales. Normalmente se identifican dos tipos de isla de calor atmosférica:

- La UHI a nivel de suelo que existe en la capa de aire que afecta directamente a los habitantes, entre el suelo y el nivel superior de los techos o árboles;
- La UHI de la capa en altura que empieza por encima de los techos o árboles y se extiende en altura hasta el punto en el que el paisaje urbano influye en la temperatura del aire. Esta altura generalmente no supera los 1,5 km.

La diferencia de temperatura del aire entre las ciudades y las zonas rurales no son tan elevadas como la de la temperatura superficial, quedándose en una diferencia alrededor de los 3 °C. Las zonas rurales o poco urbanizadas pueden enfriarse más fácilmente que las áreas densamente construidas, efecto muy evidente en las noches claras y poco ventiladas. El efecto de la isla de calor atmosférica no se manifiesta hasta el atardecer y es más importante por la noche que por el día. En algunos casos puede no alcanzar su pico máximo hasta el amanecer (Figura 1 y Figura 2) (2).

PONENCIAS

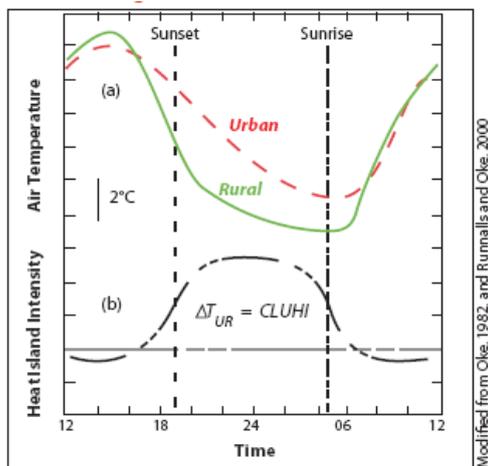


Fig.1 Grafica conceptual de la evolución de la Isla de Calor Urbana en una noche clara y poco ventilada, fuente: *Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies*, Eva Wong.

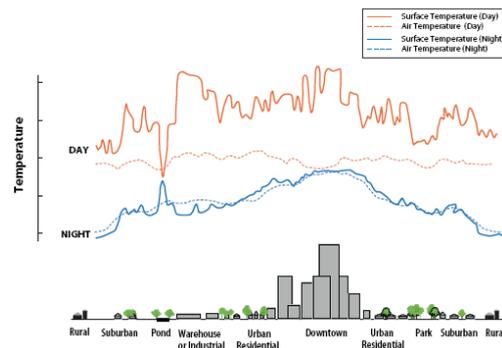


Fig.2 Variación de la temperatura superficial y atmosférica, fuente: *Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies*, Eva Wong.

EFFECTOS DE LA ISLA DE CALOR EN LOS ESPACIOS URBANOS

La isla de calor provoca el aumento de la temperatura en el ambiente urbano con respecto los entornos rurales, que tiene como primera consecuencia el aumento del consumo energético de los edificios para el enfriamiento en condiciones de verano. El fenómeno de la isla de calor puede producirse tanto de día como de noche, provocando un aumento de temperatura que puede alcanzar los 10 °C.

El problema del enfriamiento de los edificios en los climas cálidos es muy importante, ya que puede suponer un consumo energético y unas emisiones superiores a los producidos por la calefacción. En las últimas décadas el consumo para la refrigeración se ha disparado, sobre todo en las ciudades europeas. Hay que tener en cuenta que los sistemas de aire acondicionado usan energía eléctrica, lo que crea importantes problemas en el suministro energético, además de traducirse en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los contaminantes como dióxidos de sulfuros, monóxido de carbono, los NOx y de las partículas volátiles producidas por la plantas de generación. En los veranos más calurosos hemos podido asistir a repetidos cortes de suministro energético (black out) debido a la enorme demanda en las horas pico.

En la estimación del aumento de consumo debido a la UHI hay dos efectos importantes a tener en cuenta: el aumento de la potencia para alcanzar las condiciones de confort y el tiempo de uso de los sistemas de refrigeración. En presencia de UHI la retardada dispersión del calor acumulado en el día aumenta el tiempo de uso de los sistemas de aire acondicionado, pasando por ejemplo de 8 a 12 horas. El incremento de la temperatura, sobre todo en las horas pico, hace que sean necesarios equipos más potentes y en consecuencia de mayor coste. (3)

El aumento de la temperatura tiene serias consecuencias para la salud del hombre y del medioambiente. Los NOx, producidos en los procesos de combustión a alta temperatura, son un precursor para la formación del ozono troposférico (O3), un gas tóxico de color azul, principal contaminante de lo que se define como smog fotoquímico. La producción de O3 se produce bajo la acción de los rayos solares y es mayor en los meses más calurosos y en las horas de mayor soleamiento.

Las condiciones ambientales impuestas a los usuarios de un espacio pueden mejorar o empeorar la experiencia y el uso que se hace del mismo. La mejora de la calidad ambiental y social de una ciudad se

PONENCIAS

puede obtener promoviendo el uso y la revitalización de los espacios exteriores, fortaleciendo la interacción social entre los ciudadanos mediante espacios adecuados a las interrelaciones.

Jan Gehl (1987) afirma que el bienestar de los espacios depende de la protección ofrecida a las condiciones climáticas negativas y la exposición a las positivas. Asimismo, Ralph Erskine (1988) define los espacios sociales como el lugar para el desarrollo de las actividades espontáneas, fuertemente influenciado por las condiciones climáticas, y Finnish Reima Pietila (1988) habla de la arquitectura y el clima como una “pareja dinámica”.

Las investigaciones realizadas demuestran la estrecha relación que tiene el microclima urbano con la sensación de bienestar térmico de los usuarios. Aunque se demuestra que las condiciones de confort varían con la función metabólica, el grado de vestimenta y la adaptación psicológica al entorno, las condiciones exteriores afectan significativamente el uso de los espacios urbanos. Temperatura, grado de humedad, exposición a los vientos, luminosidad e intensidad de los rayos solares son los principales factores que condicionan la calidad de los espacios urbanos (4).

Los espacios demasiado soleados y calurosos están abandonados por los usuarios que buscarán en otros sitios, interiores y dotados de sistemas de refrigeración, para el ocio y el descanso. Por su parte, las calles y plazas vacías, además de perjudicar la calidad urbana, crean problemas a la economía de los comercios que desarrollan sus actividades en la ciudad. Sin embargo, espacios acogedores con la justa proporción entre sombra y sol, temperatura confortable y ventilación adecuada, pueden atraer a los usuarios para volver a ocupar los espacios exteriores.

ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA ISLA DE CALOR URBANA

La aplicación de medidas para contrarrestar o mitigar el UHI puede depender de muchos factores, algunos de los cuales se pueden incorporar a las estrategias de planificación, mientras que otros se escapan del control del uso y geometría de los espacios. En general en los procesos de planificación el proyectista tiene que considerar los diferentes factores y promover un desarrollo eco-compatible con el medio, que promueva la eficiencia y el ahorro energético, además de la funcionalidad y la salubridad para los ciudadanos.

La diferencia entre el balance energético de las superficies urbanas y las rurales es el ratio entre el flujo sensible y el latente. Las áreas rurales se caracterizan por la evapotranspiración, siendo la mayoría de las superficies húmedas, permeables y/o cubiertas por vegetación; a diferencia de las ciudades, donde las superficies, en su mayoría impermeables, tienen un flujo de energía latente inferior.

El uso de espacios verdes y árboles es la primera y más efectiva medida que se puede poner en marcha para reducir la isla de calor urbana. La sustitución del manto vegetal por superficies artificiales tiene efectos directos e indirectos sobre la isla de calor urbana. Se definen como efectos directos aquellos relacionados directamente con los edificios y su contexto, debido a la protección solar de fachadas y huecos, la reducción de la absorción y la creación de vientos. Indirectos son aquellos que afectan al entorno urbano principalmente mediante la evapotranspiración, que en general influye en el flujo latente del balance energético del espacio.

La distribución de la temperatura en las áreas urbanas está afectada por el balance de la radiación urbana. La radiación solar incidente en las superficies urbanas es absorbida y transformada en calor sensible. Techos, fachadas de edificios, calles, plazas, etc. representan una importante masa de acumulación de calor, volviendo a emitirlo al ambiente en forma de radiación de onda larga y con un desfase en el tiempo. La intensidad de las ondas depende, además de la porción de superficies visibles al cielo, de las características de los materiales, como el albedo, la emisividad, la inercia térmica, etc. (6-7).

PONENCIAS

Debido a su importante presencia en el entorno construido, los materiales de acabado de los suelos tienen una incidencia fundamental en el efecto isla de calor. Por ejemplo, en una trama urbana en cuadrícula tradicional, la calzada ocupa alrededor del 16% del suelo urbano, aumentando hasta un 23% en tramas rectangulares, típicas de complejos de viviendas sociales. La extensión de la superficie horizontal expuesta a la radiación solar, sumada a la absorción y a la capacidad térmica generalmente alta de los materiales utilizados, tienen un impacto significativo (8).

La cantidad de calor recibida por los edificios puede ser controlada por medio de la orientación y disposición de los edificios. Así las calles orientadas en sentido Este-Oeste quedan expuestas a los rayos solares a lo largo de todo el día, a diferencia de las orientadas en sentido Norte-Sur.

En las calles estrechas el recíproco sombreado de los edificios reduce la exposición al sol. Sin embargo, esto provoca una disminución del aprovechamiento solar, que puede ser muy beneficioso en invierno y como fuente de iluminación natural. Además, en condiciones de poca ventilación, la UHI aumenta por las emisiones de calor radiante acumulado por los edificios y las calles.

La orientación de los edificios es importante también para la ventilación de los espacios urbanos. Se considera óptima una disposición de los edificios con un ángulo de 45º respecto a la dirección del viento dominante. Una buena orientación de las calles es por lo tanto fundamental para el diseño de edificios bioclimáticos y el uso de sistemas de refrigeración pasiva (5)

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La reducción del efecto de UHI adquiere una importancia fundamental para las estrategias dirigidas a reducir el consumo energético y mejorar el confort urbano.

En Europa se prevé que la población urbana crezca desde un 73% en 2000 hasta un 80% en 2030, y que la temperatura aumente de 0,5 a 1 °C por década (5). Es fácil concluir que una de las primeras consecuencias será un mayor uso de los sistemas de refrigeración mecánica para restablecer condiciones de confort aceptables para los usuarios en los ambientes interiores, solución no deseable por el aumento de consumo energético y de emisiones de CO₂ asociados. Esta solución, además de ser totalmente contraria a las actuales políticas de reducción de las emisiones, deja pendiente el problema del confort de los espacios exteriores, así que el uso de medidas a nivel del diseño urbano es básico para prevenir o mitigar la formación del UHI.

La variedad de los elementos que regulan el fenómeno de UHI son complejos e interaccionan entre ellos de forma no lineal. La aplicación de medidas en lugares diferentes no permite obtener los mismos resultados. En muchos casos, medidas estudiadas en laboratorio o mediante simulación, una vez puestas en marcha en los espacios urbanos no han dado los resultados esperados.

En este trabajo de investigación se pretende relacionar aquellos elementos de diseño que influyen en la UHI con las temperaturas reales registradas en diferentes puntos de la ciudad de Madrid.

Los datos de partida para establecer la relación buscada son:

- los datos meteorológicos registrados en diferentes estaciones de Madrid;
- la selección de un entorno del espacio construido de tamaño significativo;
- la selección de unos criterios de diseño urbano que influyen en la isla de calor, cuantificables de forma objetiva.

Con estos datos es posible:

PONENCIAS

- comprobar la magnitud del efecto de la isla de calor en las diferentes estaciones seleccionadas;
- relacionar la variación en el microclima entre las áreas de estudio con las diferentes características geométricas y de uso;
- establecer una relación entre el efecto de isla de calor y los criterios de diseño urbano seleccionados.

ESTUDIO DEL EFECTO ISLA DE CALOR EN TRES BARRIOS DE MADRID

Tal y como se ha dicho anteriormente, la isla de calor se puede definir como la diferencia de temperatura entre dos observadores, uno localizado en la ciudad y otro situado en un espacio rural. Llamando la primera temperatura T_u y la segunda T_r , la isla de calor se expresa como ΔT_{u-r} .

En el presente estudio se comparan las temperaturas del aire obtenida de las mediciones de diferentes estaciones localizadas en la ciudad de Madrid.

Metodología

El estudio se basa en la comparación de los valores de temperatura registrados en las estaciones meteorológicas con los criterios de diseño urbano analizados en el entorno de la estación de medición.

Los datos meteorológicos han sido recogidos y elaborados por el Sistema Integral del Ayuntamiento de Madrid (SIM), que ha desarrollado una red propia con la finalidad de medir en superficie y en altura diferentes datos para la calidad del aire.

El trabajo analiza los valores de temperatura horaria registrados a lo largo del año 2008 en las estaciones seleccionadas. Las temperaturas del aire es el principal indicador de la UHI atmosférica, y la comparación entre los valores de las diferentes estaciones nos da una idea de la magnitud del efecto de la UHI en las zonas seleccionadas. Para realizar el análisis de los criterios de diseño urbano es fundamental definir los límites y las condiciones de contorno. Sin embargo, cada elemento estudiado influye de manera diferente en el microclima, lo que hace mucho más complejo el estudio de casos. Se decide por ello establecer unas condiciones únicas para todos los criterios, según las cuales se realizará el trabajo de investigación.

Tenemos que distinguir unos límites espaciales o geométricos y otros cuantitativos.

En primer lugar se define el límite espacial-geométrico como una distancia media de la estación meteorológica. Para el presente estudio se quiere limitar el análisis a un radio de 250 m de la estación. El valor elegido en primera instancia parece adecuado para analizar el comportamiento de un espacio urbano suficientemente amplio a la vez que capaz de ser representativo de una organización urbana.

A continuación es necesario establecer unos valores cuantitativos para aquellos elementos que, por debajo de un límite, resultan poco significativos. Por ejemplo, no procede considerar materiales presentes en superficies de poca entidad, ya que son poco significativos para el valor resultante a la vez que podrían dificultar el cálculo general. Para los valores cuantitativos se decide que, para establecer los valores medios de los albedos de los materiales de acabado, no se considerarán aquellos materiales que tengan una superficie inferior al 10% del total.

En la selección de los criterios para el presente trabajo se tendrá en cuenta que:

- Las características analizadas deben influir en la formación de la isla de calor atmosférica;

PONENCIAS

- Deben ser criterios de diseño urbano;
- Deben ser medibles con indicadores numéricos, en este trabajo no se analizarán los criterios cualitativos.

El estudio se centra principalmente en el espacio exterior y en la posibilidad de modificarlo para mejorar las condiciones de confort térmico. Las medidas aplicadas en la rehabilitación urbana se concentran en el espacio libre, ya que las posibilidades de intervención en el edificado son limitadas. Para esta razón se decide restringir el análisis sólo a los parámetros de uso del suelo, porque según las guías de buenas prácticas en el tema, es uno de elementos urbanos que más influye en la UHI y que puede ser modificado en una rehabilitación de espacios existentes. En la tabla siguiente Tabla 1 se indican los elementos estudiados y los indicadores asociados.

	<i>Criterio</i>	<i>indicador</i>
<i>Presencia de vegetación</i>	Superficie ajardinada sobre superficie total	% (m ² /m ²)
<i>Uso del suelo y materiales</i>	Uso de superficies oscuras	% (m ² /m ²)
	Uso de superficies claras	% (m ² /m ²)
	Albedo medio de las superficies pavimentadas	%

Tabla 1. Criterios de diseño urbano analizados en los casos de estudio

Casos de estudio

Los casos de estudio seleccionados han sido:

Plaza de España (estación 1)

Se elige la estación de Plaza de España (Figura 3) porque está situada en una plaza en el centro de la ciudad y los valores son representativos de las temperaturas registradas en el centro urbano.

El área de estudio está constituida por la Plaza y el entorno construido de alta densidad, con edificios en bloque en altura que en su mayoría superan las 10 plantas. La plaza está limitada por dos arterias importantes, caracterizadas por tráfico casi constante a lo largo del día: la Gran Vía y la Calle Ferraz.

La plaza cuenta con una superficie ajardinada importante constituida por césped y árboles altos. La pavimentación es predominantemente clara y además hay dos fuentes de agua en la zona central.

Las zonas de alrededor son espacios densamente construidos, con edificios en bloques en altura, con patios interiores muy pequeños. Las calles entre las manzanas son estrechas y en su mayoría con albores altos de hojas caduca a ambos lados.

PONENCIAS



Fig. 3 Imagen aérea de Plaza de España. Fuente: Google Earth

Centro Municipal de Acústica del Ayuntamiento de Madrid (estación 2)

El Centro de Acústica del ayuntamiento de Madrid (Figura 4) está situado al lado de la M-30, en un punto donde la carretera pasa sobre el río Manzanares.

La zona en la primera periferia del centro urbano está caracterizada por baja densidad de construido, muchas zonas libres y con presencia de áreas verdes.



Fig 4 Imagen aérea del área de la estación de medición del Centro Municipal de Acústica. Fuente: Google Earth

PONENCIAS

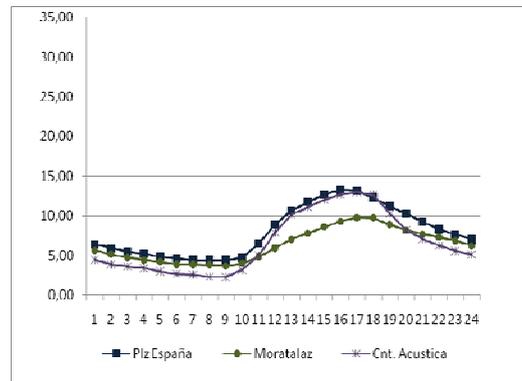


Fig.6 Enero

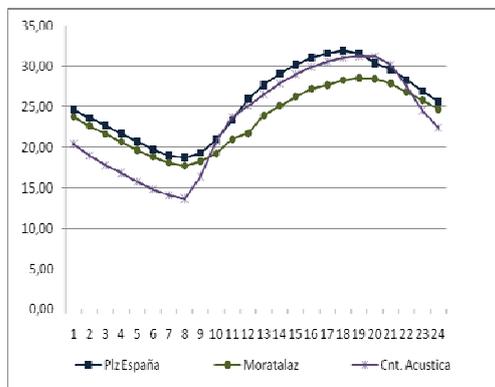


Fig.7 Julio

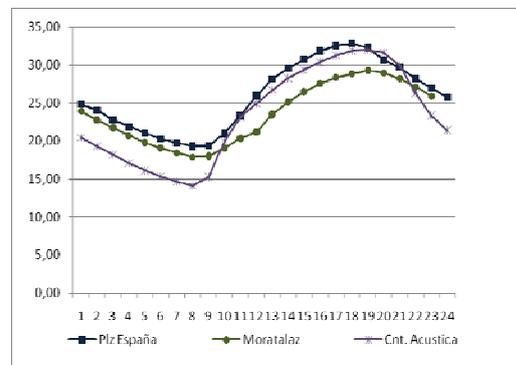


Fig.8 Agosto

En estas gráficas se puede apreciar que:

1. Las temperaturas registradas en la estación de Plaza de España son más altas que en las otras estaciones, y también en los picos máximos y mínimos registra temperaturas superiores;
2. El mínimo se registra en la estación del Centro de Acústica, pero en las horas más calientes, las temperaturas medias aproximan los valores registrados en Plaza de España;
3. La estación de Moratalaz registra valores intermedios entre las dos estaciones con temperaturas más bajas de las del centro de la ciudad y con poca amplitud térmica a lo largo del día;
4. Las temperaturas a lo largo del día varían de la misma forma en las tres estaciones. Los picos máximos se registran entre las 18,00 h y la 20,00 h y los picos mínimos entre las 8,00 h y las 10,00 h de la mañana.
5. En el mes de Enero se registra el mismo comportamiento que en los meses de verano aunque para las tres estaciones la amplitud térmica diaria sea menor. Las estaciones de Plaza de España y de la Central de Acústica muestran una variación muy pronunciada a lo largo del día a diferencia de la de Moratalaz, que muestra una curva más suave. Parece muy interesante que la temperatura máxima de esta última estación sea muy por de bajos de las otras dos.

PONENCIAS

A raíz de eso se procede a la comparación entre la amplitud térmica diaria de las tres estaciones registradas en los meses a examen.

En la tabla 2 se detallan los valores máximos y mínimos medios diarios registrados en cada estación para los meses de verano (Julio y Agosto), de invierno (Enero) comparado con el valor medio mensual registrado en Madrid Barajas (fuente Agencia Estatal de Meteorología) generando el grafico en Figura 9.

Estaciones	Enero		Julio		Agosto	
	min	max	min	max	min	max
Madrid Barajas	0,5 °C	9 °C	17,9 °C	34,8 °C	18,3 °C	35,3 °C
Plaza de España	4,61 °C	13,19 °C	19,7 °C	31,6 °C	20,3 °C	32,27 °C
Centro de Acústica	2,67 °C	12,66 °C	14,82 °C	31,26 °C	15,33 °C	32,01 °C
Ayuntamiento de Moratalaz	3,88 °C	9,26 °C	18,86 °C	28,56 °C	19,1 °C	29,3 °C

Tabla 2 Valores de temperatura mínima y máxima media diaria registrados en las tres estaciones

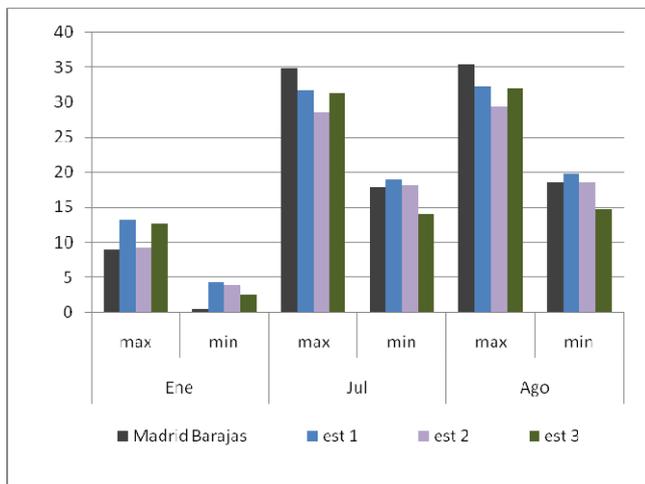


Fig. 9 Comparación de las temperaturas máxima y mínimas entre las tres estaciones de estudio y la estación de medición de Madrid Barajas. En las tres estaciones ciudadanas podemos apreciar que los picos de temperatura son más suaves, lo cual demuestra la influencia de la UHI que se manifiesta a lo largo del año y con mayor intensidad en invierno.

En la tabla 3 se indica la amplitud térmica media registradas en las tres estaciones en los meses de estudio calculada como diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas.

Estaciones	Julio	Agosto	Enero
Plaza de España	11,9	11,97	8,58
Centro de Acústica	16,44	16,68	9,99
Ayuntamiento de Moratalaz	9,7	10,2	5,38

Tabla 3 Amplitud térmica diaria

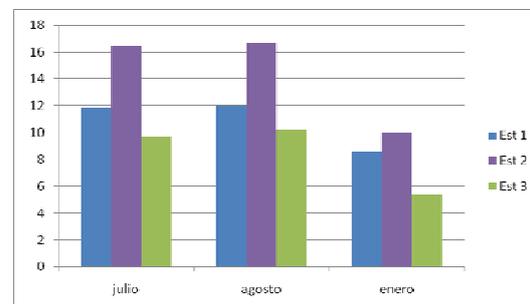


Fig.10 grafico de las amplitudes térmicas

PONENCIAS

La oscilación térmica en verano es superior que la que se produce en invierno, pero con un comportamiento diferente para las tres estaciones.

Como ya se podía apreciar de las gráficas anteriores, la oscilación de temperatura diaria es mucho más importante para la estación de la Central de Acústica que para las otras dos. Se producen diferencias sustanciales entre invierno y verano. Vemos que en los meses cálidos la amplitud térmica superior a los 16 °C, en cambio en el mes de Enero se reduce a casi la mitad, siendo de 9,9°C. Eso se debe sobre todo a que en verano se produce un enfriamiento nocturno mucho más alto que en las otras estaciones.

La variación más baja se obtiene en la estación de Moratalaz, aunque también en este caso la oscilación térmica en verano es casi el doble de la que se produce en invierno.

La estación Plaza de España es la que demuestra mantener el mismo comportamiento a lo largo del año. Si nos fijamos en los valores, veremos que en verano la amplitud térmica es de 11,9 °C y en invierno de 8,9 °C, con una diferencia de apenas 3,32 °C.

Análisis sobre el uso del suelo

Como se ha explicado anteriormente se elige como área de estudio un área de radio de 250m a partir de las estaciones de medición. Sobre un mapa se marcan los diferentes espacios libres según tres tipos de uso del suelo: espacios verdes, espacios con pavimentación oscura (asfalto) y espacios con pavimentación clara. Por cada tipo de suelo se calcula la cantidad de superficie y se comparan los resultados obtenidos en las tres áreas.

A cada una de las tres tipologías de superficies se asigna un valor de albedo medio del 15% para el asfalto, de 35% para las superficies pavimentadas claras (se toma como referencia un valor medio para los hormigones claros) y para las superficies verdes se considera un albedo medio del 20%.

Los valores obtenidos del análisis realizado están tabulados a continuación (Tabla 4)

Estación 1: Plaza de España					
Superficie total de estudio: 133.936 m ²					
Áreas Verde		Asfalto		Acabados claros	
m ²	%	m ²	%	m ²	%
12.116	9,05%	32.726	24,46%	7.186	5,37%
Estación 2: Centro Municipal de Acústica					
Superficie total de estudio: m ²					
Áreas Verde		Asfalto		Acabados claros	
m ²	%	m ²	%	m ²	%
92707	42,54	32233	14,79		
Estación 3: Ayuntamiento de Moratalaz					
Superficie total de estudio: 218.729 m ²					
Áreas Verde		Asfalto		Acabados claros	
m ²	%	m ²	%	m ²	%
88.505	40,46%	46.441	21,23%	22.990	10,51%

Tabla 4 Valores de superficies de uso de suelo

A partir de los datos se puede apreciar que la superficie libre en la zona centro es sensiblemente inferior respecto a las otras zonas más periféricas. La estación de Plaza de España está constituida por una

PONENCIAS

densidad de construido mucho más alta y compacta, la presencia de zonas verdes es inferior y el espacio libre está principalmente ocupado por calles y aparcamientos.

El tipo de desarrollo en Moratalaz está caracterizado por edificios en bloque abierto y por una presencia importante de espacios libre entre bloques ocupados por zonas verdes.

Para la estación 2 del Centro Municipal de Acústica no ha sido posible encontrar todos los datos, así que se pueden comparar solo los valores de superficies verdes y de las zonas asfaltadas. Como se puede apreciar de las fotos aéreas, la zona tiene poca densidad de suelo construido y una importante presencia de espacio libre ocupado por áreas verdes. Las superficies ocupadas por las carreteras representan solo el 14,79%, un valor significativamente inferior a los de las otras dos estaciones.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La comparación entre los valores de temperatura y el análisis del uso de suelo parece la más adecuada porque:

- el suelo es el principal receptor de la radiación solar directa, componente importante en la formación de la isla de calor de Madrid;
- las actuaciones de diseño urbano, tanto en proyectos nuevos como en rehabilitación de espacios existentes, se materializan en el espacio libre.

Es fácil asociar los elevados valores de temperatura de Plaza de España con la alta densidad de suelo construido, la falta de espacios verdes y la importante proporción de superficies con acabado oscuro. Las temperaturas aumentan a lo largo del día; esto indica que la cantidad de calor absorbida es importante. El hecho que la temperatura descienda en las horas nocturnas indica que la componente de isla de calor superficial es probablemente más importante que la atmosférica. Para confirmar esta hipótesis sería necesario realizar un análisis radiométrico y considerar otros factores que pueden influir significativamente en la temperatura como por ejemplo el viento.

La estación del Centro Municipal de Acústica aparentemente es la menos afectada por el UHI, aunque en verano se registren valores máximos de temperatura próximos a los de Plaza de España. Esta conclusión está de acuerdo con el tipo de desarrollo del área, caracterizado principalmente por mucho espacio libre, densidad del suelo edificado baja y edificios distribuidos de forma bastante aislada entre ellos, permitiendo así el pasaje del aire y la disipación del calor en las horas nocturnas.

Los valores registrados en la estación de Moratalaz contrastan con las hipótesis iniciales. El análisis de los valores de temperatura nos muestran que la zona está muy afectada por la UHI, sobre todo por la poca amplitud térmica registrada a lo largo del día, pero el uso del suelo nos muestra un espacio construido poco denso con mucha superficie libre ocupada por áreas verdes.

El tipo de desarrollo del área estudiada cumple las condiciones principales de uso del suelo para reducir la UHI: importante cantidad de espacios verdes entre edificios, superficies libre no ajardinada con acabados claros, calles arboladas y poca compacidad entre los edificios para favorecer la ventilación.

Frente a esta contradicción, antes de formular unas conclusiones, se sugiere que se repita en estudio considerando otros parámetros, tanto meteorológicos como de diseño.

CONCLUSIONES

El principal efecto de la UHI en el microclima puede apreciarse a partir de la medida de la amplitud térmica registrada a lo largo del día. La isla de calor atmosférica se manifiesta más en las horas

PONENCIAS

nocturnas que durante el día, dificultando la disipación del calor acumulado y aumentando la temperatura mínima diaria. De los datos analizados se puede concluir que la UHI en Madrid sigue la norma general de máxima intensidad en las horas nocturnas prolongándose hasta el amanecer, produciéndose con más frecuencia en invierno (1).

De los tres casos estudiados, hemos comprobado que la zona con menos oscilación térmica diaria, tanto en invierno como en verano, es la estación de Moratalaz, si bien las temperaturas, principalmente las máximas, se mantienen por debajo de las de las otras estaciones. El hecho de que la temperatura máxima esté por debajo de los valores registrados en las otras dos estaciones puede estar asociado a otros factores climáticos que no se han considerado en este trabajo.

La estación de Plaza de España presenta una amplitud térmica media y la temperatura más alta. Durante el día la temperatura sube mucho, alcanzando su pico máximo a las 6:00 h de la tarde y se enfría mucho por la noche, disminuyendo de 12 °C en verano y más de 8 °C en invierno. Esto, a pesar de que las condiciones de diseño del espacio contrastan con los valores obtenidos, por la poca presencia de verde, la alta densidad y compacidad del espacio construido y la significativa cantidad de calles y superficies pavimentadas con superficies oscuras.

La variación de temperatura diaria nos hace pensar que la isla de calor superficial puede que tenga más importancia que la atmosférica, hecho que no puede ser justificado sólo con los limitados parámetros analizados.

Para los tres casos de estudio, se ha demostrado que el análisis de solo el parámetro meteorológico de la temperatura atmosférica es muy limitado, porque hay muchos otros factores que influyen como el viento y la humedad. Por ejemplo la cercanía al río Manzanares en la estación 2 hace que disminuya mucho la temperatura por la noche, mientras que Plaza de España es una zona caracterizada por mucho viento. Por lo tanto un estudio de las temperaturas sin tener en cuenta estos factores puede dar resultados erróneos.

Como investigación futura se propone ampliar este estudio considerando más parámetros climáticos y otras componentes como la orientación y la topografía del lugar.

No se ha encontrado una relación tan directa como se esperaba entre los datos meteorológicos y los criterios de diseño. Si bien la estación 3 es la que tiene el pico de temperatura más bajo de las tres, el hecho de tener una amplitud térmica muy baja nos hace pensar que es la más afectada por la isla de calor. Eso contrasta con los criterios de diseño, porque es una zona con una densidad de edificios muy inferior a la de Plaza de España y la presencia de espacios verdes representa el 40,9% sobre el total del área estudiada.

Se propone por ello ampliar los criterios a examen, considerando otros elementos que puedan cuantificar la densidad y compacidad del espacio, la exposición solar y la orientación de los edificios en relación a los vientos dominantes.

Bibliografía

(1) Antonio López Gómez, Julia López Gómez, Felipe Fernández García, Antonio Moreno Jiménez. *El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. 1993.

(2) Eva Wong, and all., U.S. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, *Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies*. EPA

PONENCIAS

(3) S. Hassid, M. Santamouris, N. Papanikolaou, A. Linardi, N. Klitsikas, C. Georgakis, D.N. Assimakopoulos, The effect of the Athens heat island on air conditioning load, *Energy and Building*, 32, 2000, pp 131-141 .

(4) Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces: the human parameter, *Solar Energy*; pp..., 70(3), 2001.

(5) Claire Smith, Geoff Levermore, Designing urban spaces and building to improve sustainability and quality of life in a warmer world, *Energy Policy*, pp 4558-4562, 2008.

(6) Gray, K. A. and Finster, M. E., The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution. Evanston, IL: *Northwestern University*, 1999

(7) AA.VV. for Heat Island Reduction Initiative, al cuidado de Cambridge Systematic. Inc, Chevy Chase, Junio 2005.

(8) Correa E.N., Flores Larsen S., Lesino G., Isla de calor urbana: efecto del los pavimentos. Informe de avance, *Avance en Energía Renovable y Medio Ambiente*, Vol 7, Nº2, 2003. ISSN 0329-5184