

# Clima urbano y calidad ambiental de la ciudad de Zaragoza



Hacia el desarrollo sostenible

Cuaderno n.º 10

CLIMA URBANO Y CALIDAD AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE ZARAGOZA.  
*URBAN CLIMATE AND ENVIRONMENTAL QUALITY OF ZARAGOZA.*

**Documento elaborado:**

EN COLABORACIÓN MEDIANTE CONVENIO CON EL DEPARTAMENTO  
DE GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA  
Y LA OFICINA DE LA AGENDA 21 LOCAL DEL AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA.

**Coordinación municipal:**

Javier Celma, Nieves López, Mariano Aladrén.

**Investigador responsable:**

Dr. José María Cuadrat Prats.

**Equipo de investigación:**

Dr. Miguel Ángel Saz Sánchez.  
Dr. Sergio M. Vicente Serrano.

**Supervisión municipal:**

Javier Celma, Carmen Cebrián, M<sup>a</sup> Luisa Campillos.

**Diseño del logotipo:**

Isabel García Albero.

**Fotografías de la cubierta:**

Félix Bernad, Olga Conde (Ayuntamiento de Zaragoza).  
Equipo "Energía y Edificación" (Universidad de Zaragoza).

**Realización:**

ARPIrelieve, S.A.

D.L.: Z-I.526/04

I.S.B.N.: 84-8069-287-1 (Colección)

I.S.B.N.: 84-8069-356-8 (Ejemplar)

Documento realizado en papel reciclado 100%

<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	5
<b>METODOLOGÍA</b> .....	6
Fuentes de información .....	6
Elaboración de la cartografía .....	6
<b>EL EFECTO URBANO SOBRE EL CLIMA</b> .....	7
La organización espacial de las temperaturas y la isla de calor urbano de Zaragoza .....	7
Distribución espacial de la humedad relativa del aire .....	10
Variabilidad temporal de las condiciones termo-higrométricas .....	10
<b>FACTORES CONDICIONANTES DEL CLIMA DE ZARAGOZA</b> .....	12
Factores geográfico-urbanos .....	12
Factores atmosféricos: el viento .....	18
<b>EL CLIMA URBANO Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	21
<b>CLIMA URBANO, CALIDAD AMBIENTAL Y PLANIFICACIÓN</b> .....	23
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	24

Mapping urban environments and urban heat islands is one of the objectives of 9th chapter of *21 Local Agenda*, dedicated to *Atmospheric Protection*. In addition the *Strategic Plan of Zaragoza* contains the study of thermal conditions in the city in 8th chapter.

The *Council of Zaragoza* has supported an investigation project about the analysis of the thermal urban patterns in the city, carrying out the research the *University of Zaragoza*. The result of this collaboration is the thermal characterisation of Zaragoza, but the research has analysed other climatic features too, such as the urban comfort and the relative humidity of air.

Using Geographical Information Systems (GIS) an average thermal map was created. This map shows the spatial patterns of urban heat island (UHI) in Zaragoza, indicating a concentric distribution of UHI. The warmest areas are located in the city centre showing a peripheral negative gradient. The mean intensity of UHI is 2.5-3.5° C. Moreover, a map of the relative humidity of air was generated. This map shows a concentric distribution of relative humidity, with a positive peripheral gradient. The mean difference was about 20-25%.

Apart from, this work analyses the relationships between spatial patterns of UHI and relative humidity with several geographical and structural parameters, showing a great influence urban density, building materials, vegetation cover and topography.

Finally, the relation between surface wind directions and spatio-temporal variability of UHI and humidity island has been analyzed. In days with NW winds (locally called *cierzo*) the warmest areas shows a displacement to the southeast of the city, whereas in days with SE prevailing winds (*bochorno*) the areas with higher temperatures are displaced to the northwest. The same displacement shows the areas with the lowest values of relative humidity.

## RESUMEN

La elaboración de cartografía climática de la ciudad queda recogida en el capítulo 9 de la *Agenda Local 21* sobre Protección de la Atmósfera. A su vez, el objetivo 8 del *Plan Estratégico de Zaragoza* integra también el estudio del clima.

El Ayuntamiento de Zaragoza, mediante Convenio de Colaboración con la Universidad de Zaragoza, ha hecho posible la realización de este estudio sobre las condiciones climáticas de nuestra ciudad. La colaboración entre ambas instituciones ha permitido conocer las características térmicas de Zaragoza además de otros aspectos relacionados con la humedad relativa del aire y el confort ambiental.

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha elaborado un mapa térmico promedio de la ciudad, que muestra la distribución de la isla de calor. Ésta ofrece una forma concéntrica, apareciendo las zonas más cálidas en el centro de la ciudad y las más frescas en la periferia. La intensidad media de este fenómeno está en 2,5-3,5° C. Además se realizó un mapa promedio de la humedad relativa del aire, que muestra una distribución también concéntrica de unos valores que se incrementan conforme nos alejamos del centro, con diferencias del 20-25%.

Se ha analizado también la relación de distintos parámetros ambientales y estructurales de la ciudad con la isla de calor y la distribución de la humedad del aire, siendo la densidad urbana, el tipo de materiales, la presencia o ausencia de vegetación y la topografía los que más influencia muestran sobre las condiciones termohigrométricas en el interior de la ciudad.

Finalmente se ha estudiado la relación entre el viento y la variabilidad espacio-temporal de la isla de calor y de la humedad del aire. En días con viento del NW, el conocido *cierzo*, se demuestra que las mayores temperaturas en el interior de la ciudad se desplazan hacia el sureste, mientras que en días en los que domina el viento del SE (*bochorno*) se desplazan hacia el noroeste. El mismo desplazamiento muestran las áreas con los valores más bajos de humedad relativa del aire.

En el momento actual, cuando se hace tan necesario plantear una relación más armónica entre el hombre y el medio ambiente, sobresale la importancia extraordinaria que tiene la modificación de las condiciones climáticas en las ciudades, especialmente porque en ellas reside una gran parte de la población mundial. Las áreas urbanas constituyen el medio más artificial de los construidos por el hombre y el conocimiento de su clima tiene especial relevancia por el interés científico que adquieren las cuestiones ambientales y por el deseo de la población de mejorar su calidad de vida.

En la mayor parte de los procesos de urbanización regidos por el planeamiento, se propone la conveniencia de que se consideren no sólo las variables económicas, sociales y artísticas, sino también, de una forma cada vez más preferente, las cuestiones relativas al medio ambiente y en particular el clima, como horizonte para lograr la sostenibilidad en los modelos de desarrollo urbano.

A escala internacional, el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente* señala de manera específica que para una eficaz planificación del medio ambiente en el entorno urbano es necesario preparar estudios detallados del clima como recurso y como riesgo del municipio. En este mismo sentido, la elaboración de cartografía climática del medio urbano queda recogida en el capítulo 9 de la *Agenda 21* sobre *Protección de la Atmósfera*; y, a su vez, el *Plan Estratégico de la ciudad de Zaragoza* integra el estudio de las condiciones climáticas de la ciudad dentro del objetivo 8, referido a la *Mejora de la Calidad del Aire*.

Desde estos principios, en el presente trabajo se realiza un estudio detallado del clima urbano de Zaragoza con la finalidad de aplicación a la mejor gestión y planificación ambiental de la ciudad y su entorno. Se profundiza además en otros aspectos destacados desde el punto de vista bioclimático y de confort ambiental, como son la identificación de fenómenos de alteración del clima regional debidos al proceso de urbanización, el análisis de la variabilidad espacio-temporal de las condiciones termo-higrométricas urbanas y la relación con factores atmosféricos y estructurales.

Los objetivos específicos que persigue la presente investigación son los siguientes:

1. Conocer los efectos de la urbanización sobre el clima e identificar las islas de calor y de sequedad generadas por la ciudad de Zaragoza.
2. Analizar la variabilidad temporal de las condiciones termo-higrométricas de Zaragoza.
3. Evaluar la influencia de los factores estructurales y ambientales sobre las condiciones climáticas de la ciudad.
4. Elaborar una cartografía detallada de las condiciones térmicas y de humedad de Zaragoza y su entorno.
5. Finalmente, creación de una base de datos climáticos de la temperatura del aire, humedad relativa, vientos y precipitación, con la información instrumental procedente de los observatorios meteorológicos instalados en el término municipal de Zaragoza por el Instituto Nacional de Meteorología y los datos registrados por el equipo investigador.

### **I. Fuentes de información**

La primera información empleada ha sido la procedente de los archivos del Instituto Nacional de Meteorología en su Centro Territorial de Aragón, que ofrece datos instrumentales de varios puntos de la ciudad y su periferia. Con ellos se han identificado los rasgos globales del clima de la capital en el contexto del clima regional en el que se sitúa, del que depende el ritmo y el comportamiento temporal de los elementos meteorológicos.

Sin embargo, estos datos no permiten el conocimiento en detalle del complejo entramado de microclimas diferenciados que se crean en el interior de la urbe, debido a la escasez de observaciones y a las posibles distorsiones derivadas de su emplazamiento (con frecuencia se sitúan en los parques); por este motivo, la fuente de información fundamental ha sido la obtenida mediante recorridos urbanos realizados con instrumentos de medida específicos instalados sobre vehículos, que permiten hacer registros en gran número de puntos y con ellos analizar con mayor precisión las condiciones climáticas que se forman en los distintos espacios urbanos.

Durante los años 2000 y 2001 se realizaron semanalmente recorridos urbanos simultáneos con tres automóviles equipados con sensores digitales de temperatura y humedad, mediante sonda de ambiente y de baja inercia, con los que se hicieron mediciones en 240 puntos dentro del espacio urbano de Zaragoza y su área circundante. Buena parte de la toma de datos se realizó tres horas después de la puesta de sol, momento en el que las diferencias entre las condiciones de temperatura y humedad entre el centro y la periferia de la ciudad son más acusadas. En número reducido se efectuaron observaciones al amanecer y a mediodía para conocer la evolución y los cambios producidos a lo largo del día.

Los valores registrados fueron sometidos a un proceso de control de calidad en el que se corrigieron los posibles errores y se eliminó la tendencia que en todas las salidas ofrecían las mediciones realizadas. Estas tendencias están relacionadas con el lapso temporal de aproximadamente una hora que duraban los recorridos.

### **2. Elaboración de la cartografía**

La base de datos creada ha permitido elaborar los mapas de distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa del aire en Zaragoza. Al tratarse de información de tipo puntual (en 240 puntos), para la representación cartográfica se recurrió a técnicas de interpolación espacial mediante las que estimar los valores térmicos e higrométricos de las zonas en las que no existían registros directos.

La información generada se ha integrado en un Sistema de Información Geográfica con el que se facilita la consecución de los objetivos perseguidos: en primer lugar, permite conocer el reparto espacial de la temperatura y la humedad del aire y su variabilidad, es decir, precisar los espacios en los cuales las condiciones termo-higrométricas son más estables temporalmente frente a las zonas en las que existen mayores cambios. En segundo lugar, interpretar las variaciones de aquéllas en función de los factores estructurales de la ciudad como pueden ser la topografía, la densidad de edificación, el tráfico, etc. Y, por último, explicar su relación con los factores atmosféricos, en particular con los flujos dominantes del viento.

### **I. La organización espacial de las temperaturas y la isla de calor urbano de Zaragoza**

El fenómeno de la isla de calor, que se concreta en la mayor temperatura del centro urbano en relación con el espacio rural circundante, es en Zaragoza la modificación más clara provocada por la ciudad sobre el clima. Al igual que ocurre en todas las áreas urbanas, esta isla térmica es generada por distintas causas que podemos resumir de este modo: 1. La producción de calor desprendido en las múltiples combustiones urbanas (calefacción, circulación rodada, industria, alumbrado, etc). 2. La mayor capacidad de almacenamiento de energía solar de los materiales de construcción urbana. 3. La disminución de la evaporación, debido a la sustitución de la superficie original por un suelo pavimentado. 4. La menor pérdida de calor sensible por la reducción de la velocidad del viento originada por los edificios.

Todas ellas, en distinta medida, son causas influyentes en la magnitud del fenómeno de la isla de calor de la capital aragonesa, en la que se combinan la presencia de más de 600.000 habitantes y mucha actividad económica, bajo porcentaje de superficie verde sobre la superficie total urbanizada y clima contrastado de inviernos fríos que se combaten con calefacción generalizada.

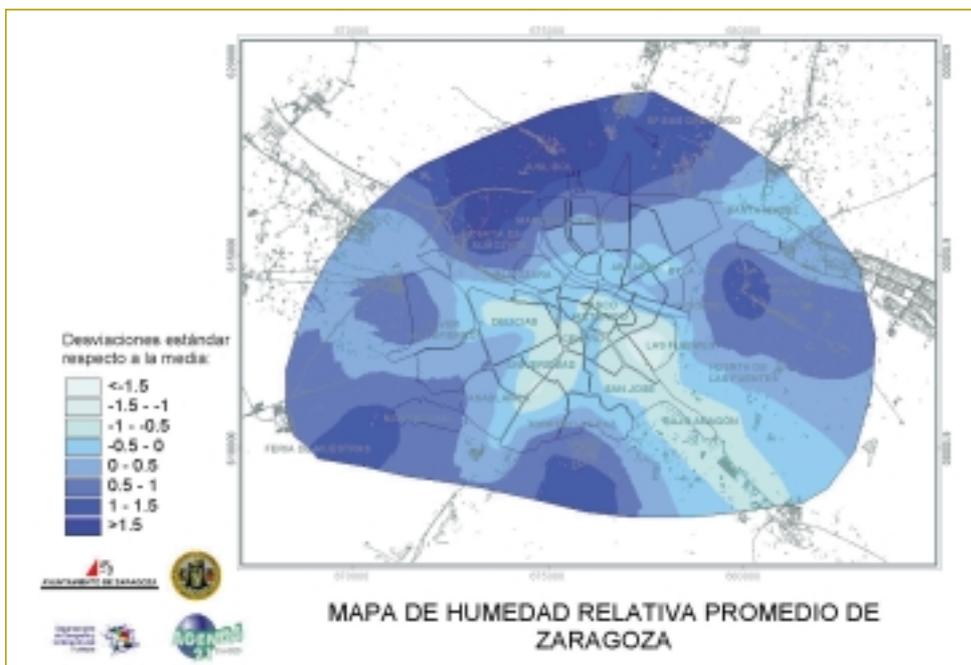
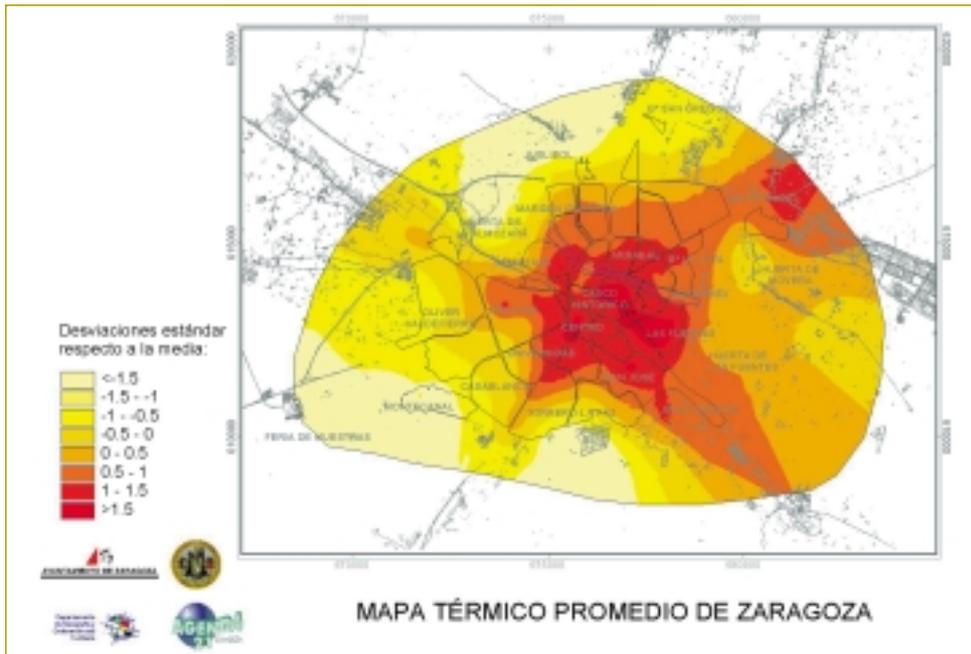
El análisis de los datos manejados permite, en efecto, constatar la existencia de notables diferencias de temperatura entre el interior de la ciudad y su entorno inmediato, y la presencia de una marcada isla de calor, fluctuante para situaciones atmosféricas variables, que alcanza su máximo en días anticiclónicos invernales alrededor de los 6° C.

La isla térmica zaragozana suele presentar en gran número de ocasiones forma concéntrica, es decir, con isotermas nucleares cerradas y formas no muy alejadas de las circulares. Los valores máximos se localizan predominantemente en la zona centro, en la margen derecha del río Ebro, y disminuyen de modo progresivo hacia la periferia circundante de Zaragoza dibujando claramente las superficies edificadas, con descenso más rápido hacia el Suroeste, Sur y Norte de la ciudad.

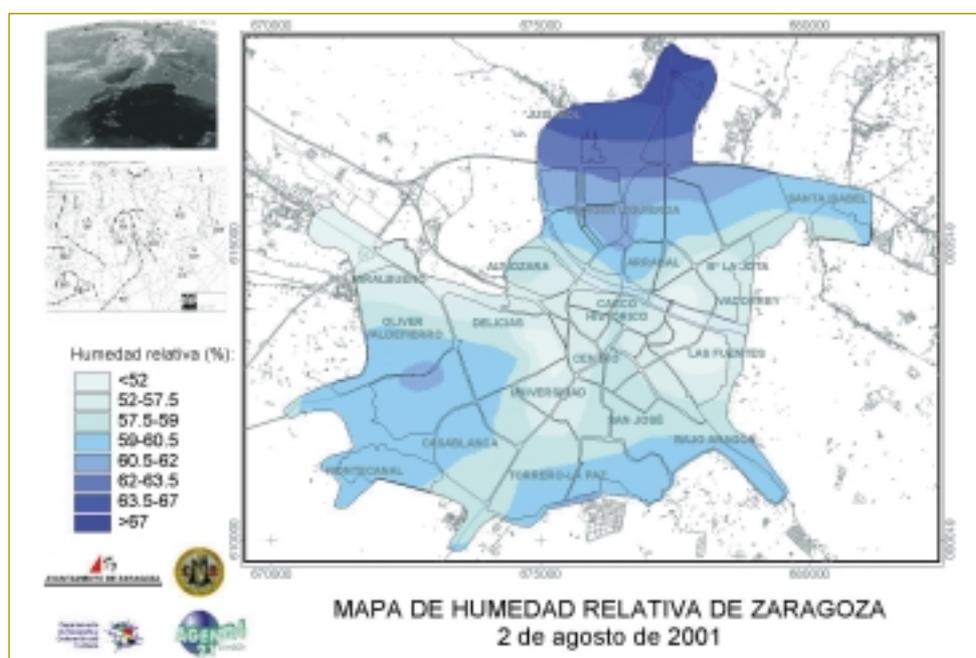
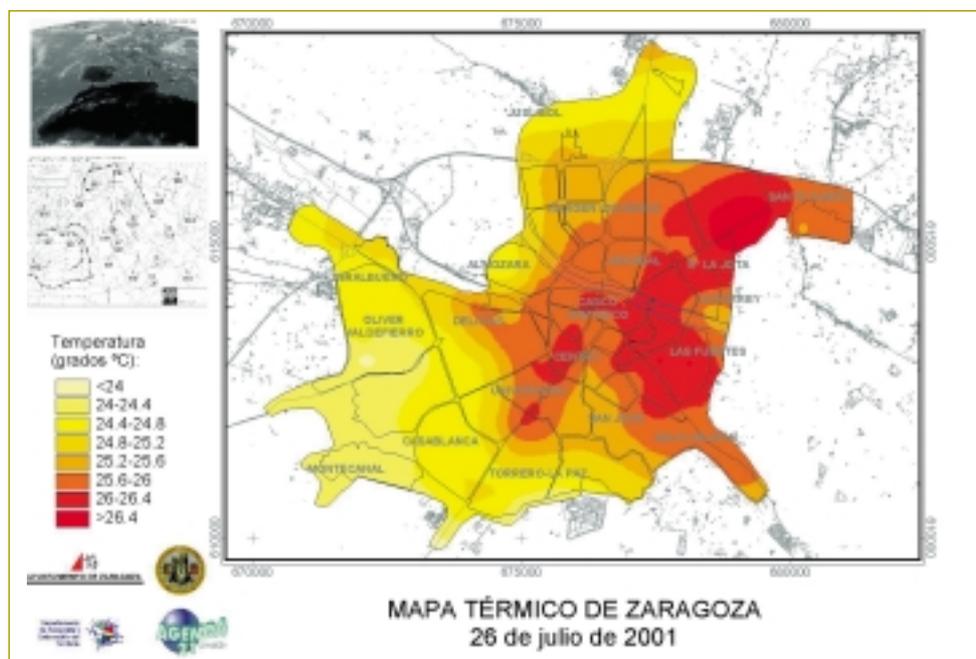
Los espacios más cálidos se encuentran en los sectores central y centro-oriental del entramado urbano: el entorno del Coso-Plaza España, con prolongación hacia la Avenida de Madrid, Gran Vía-Avenida Goya y zonas próximas a la intersección entre el Camino de las Torres y Miguel Servet. Conforme nos alejamos de este núcleo el ambiente es cada vez más fresco, como se comprueba en la prolongación de la Avenida Gómez Laguna, Montecanal, carretera de Valencia, montes de Torrero, Miralbueno-barrio Oliver-Valdefierro y Juslibol-Academia General Militar-Parque Goya; al igual que en los grandes parques y jardines urbanos, en particular el Parque Primo de Rivera y Parque del Tío Jorge. Y aún mayor es el descenso de las temperaturas en las zonas rurales limítrofes, con diferencias térmicas absolutas respecto al centro, en general, de entre 3° y 4° C; que en días concretos, de atmósfera estable y cielo despejado, llegan a superar los 5° C. Dos ejemplos pueden ilustrar este hecho: el día 26 de julio de 2001, cuando la temperatura observada en el Coso era de 27,8° C, en Torrero se registraban 22,8° C. Y el día 23 de febrero del mismo año los termómetros medían 16,3° C y 10,9° C en Gran Vía y el barrio Las Fuentes, respectivamente.

## EL EFECTO URBANO SOBRE EL CLIMA

En la periferia urbana se aprecia, además, una importante disimetría entre la zona oriental, más cálida, y la occidental, en general más fresca, claramente reflejada en la cartografía, que responde sobre todo a causas atmosféricas: la primera se insinúa muy bien en el barrio de Santa Isabel, Huerta de Las Fuentes y carretera de Castellón, con valores muy próximos en ocasiones a las áreas plenamente urbanas. En contraste, las temperaturas son siempre inferiores en los espacios del Norte, Oeste y Suroeste de la ciudad, como son el barrio de Juslibol, la huerta de La Almozara, entorno de Montecanal-Feria de Muestras y montes de Torrero.



Mapas térmicos e higrométricos promedio de Zaragoza



Ejemplos de distribución de la temperatura y la humedad relativa del aire en Zaragoza

## 2. Distribución espacial de la humedad relativa del aire

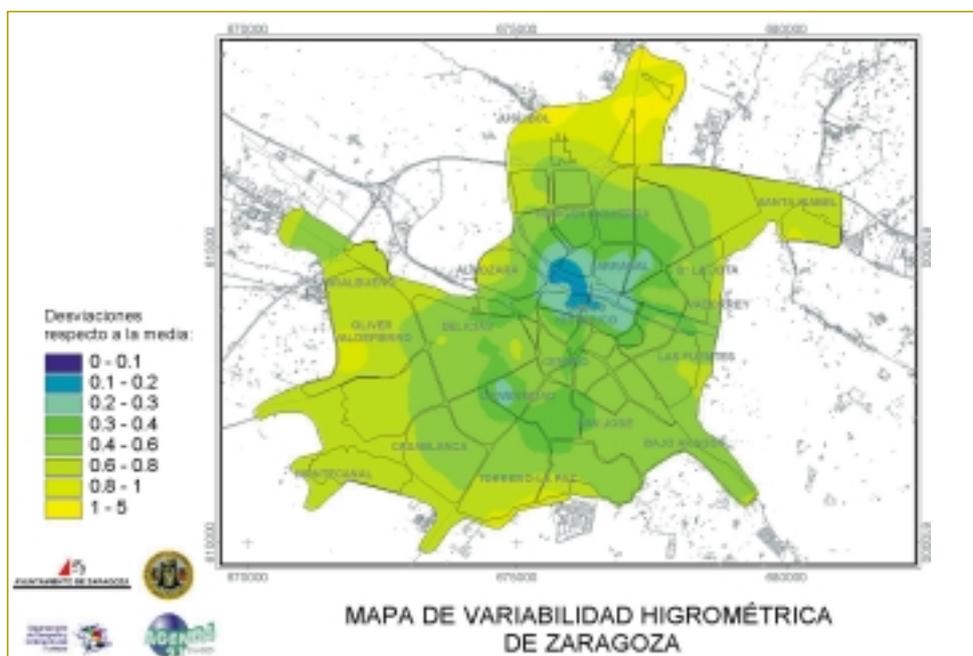
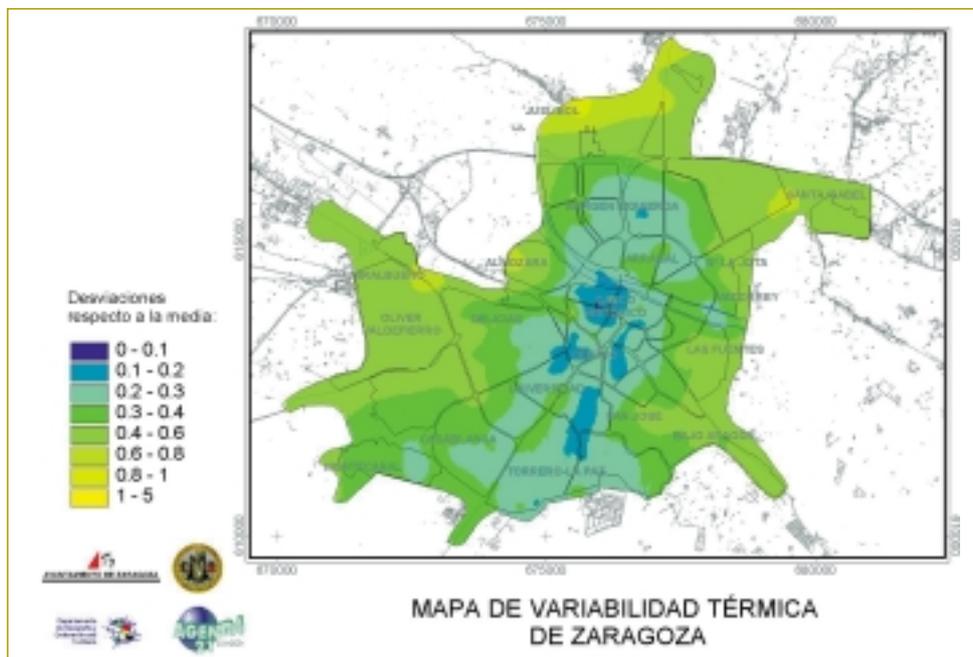
La relación inversa que existe entre la temperatura y la humedad relativa del aire explica que el mapa higrométrico promedio parezca el negativo del mapa térmico. Así, los espacios en los que la humedad ambiental es en promedio más baja coinciden con las zonas más cálidas de Zaragoza: el centro de la ciudad y las grandes avenidas como la de Madrid, el Coso, Camino de las Torres o Miguel Servet, llegan a conformar una verdadera “isla de sequedad”, a partir de la cual los valores de humedad aumentan hacia el exterior del núcleo urbano, percibiéndose el mismo gradiente centro-periferia observado en las temperaturas, aunque en este caso de signo positivo, y de mayor magnitud hacia el Norte, Suroeste y Sur de Zaragoza. En este comportamiento general, y como cabía esperar, las grandes superficies arboladas de los parques y jardines, como son Miraflores, parque Tío Jorge o Primo de Rivera, poseen ambientes más húmedos que contrastan con las superficies edificadas de su entorno.

En las áreas rurales inmediatas la humedad es en promedio un 20-25% superior a la existente en el corazón urbano. A modo de ejemplo, el día 2 de agosto de 2001, con tiempo anticiclónico, la humedad relativa en Gran Vía y Delicias era inferior al 50%, mientras superaba el 70% en el norte de la ciudad. Considerada en su conjunto, la periferia de Zaragoza ofrece, asimismo, otras particularidades destacables: los valores de humedad en dirección a la carretera de Castellón se asemejan en muchas ocasiones a los existentes en espacios con alto grado de urbanización. Y se puede subrayar también que algunos rasgos observados en el mapa de temperaturas no se repiten en el caso de la humedad, en particular las diferencias detectadas entre las zonas de huertas: la huerta de la Almozara y la de Movera tienen valores medios de humedad similares entre sí, algo que no ocurría con las temperaturas, mientras que son ligeramente inferiores en el caso de la huerta de Las Fuentes.

## 3. Variabilidad temporal de las condiciones termo-higrométricas

La explicación realizada de la distribución de la temperatura y humedad corresponde a datos promedio, que lógicamente pueden verse modificados cuando se contempla el detalle de situaciones concretas, en diferentes momentos del año y en distintas condiciones atmosféricas; no obstante, el análisis hecho permite afirmar que la variabilidad no es muy grande y que la permanencia de los rasgos generales identificados es muy alta.

En relación con las temperaturas, la isla de calor observada en el centro de Zaragoza es persistente y, además, es la zona que tiene menor variabilidad temporal, es decir, la que menores modificaciones sufre a lo largo del año. Variabilidad también baja parece observarse hacia el Sur de la ciudad y el entorno del Parque Primo de Rivera; en cambio, se incrementa en zonas normalmente cálidas como el sector centro-oriental, consecuencia seguramente del desplazamiento que la isla térmica experimenta en determinadas situaciones atmosféricas. En la periferia, por la influencia más directa de las cambiantes condiciones atmosféricas y el menor peso de la acción urbana, las variaciones temporales son siempre mayores.



Mapas de variabilidad de las temperaturas y la humedad relativa de Zaragoza

Por lo que respecta a la humedad, es igualmente significativa la permanencia de valores bajos de humedad en el centro de la urbe y el progresivo aumento de la variabilidad al alejarnos de este núcleo. Permanencia, pero en este caso de valores altos de humedad, es la observada en el área situada en el entorno del río Ebro, entre el puente de La Almozara y el puente de Piedra, indicando la influencia del cauce fluvial sobre los cambios temporales de las condiciones de humedad; y similar efecto ejercen las superficies verdes de gran extensión, de tal manera que la humedad relativa del aire experimenta pocas modificaciones a lo largo del tiempo, como se aprecia de manera más visible en el Parque Primo de Rivera. Todas ellas contrastan con la mayor variabilidad del medio rural, en particular en el Norte y Suroeste de Zaragoza.

## FACTORES CONDICIONANTES DEL CLIMA DE ZARAGOZA

Aunque presentan muchos rasgos comunes, por los estudios realizados se comprueba que las características climáticas de las ciudades varían mucho de unas a otras. Ello es debido a la acción de varios tipos de factores: los geográfico-urbanos de cada ciudad y los meteorológicos o relativos al estado del tiempo. En ellos nos detenemos a continuación.

### I. Factores geográfico-urbanos

Se ha hecho referencia a la importante transformación del medio natural que el hombre hace en las ciudades, hasta el extremo de poder ser consideradas éstas como el medio ambiente más específicamente humano. La sustitución de la cubierta vegetal por un substrato impermeable, la masa compacta de edificios, la estructura urbana, el tráfico, los espacios ajardinados, etc, son evidencias claras de esta acción. A la magnitud de estos factores, que denominamos urbanos, se añaden los de naturaleza geográfica, como son la localización de la ciudad, su topografía, características del entorno, presencia de arterias fluviales, etc, igualmente relevantes.

Todos ellos mantienen fuertes relaciones y contribuyen a modificar el clima de la ciudad, pero es evidente que no es igual el peso que tiene cada uno por separado para explicar el comportamiento de los diferentes elementos del clima. En Zaragoza, los que más influyen sobre la temperatura y la humedad son los siguientes.

#### *a. Factores condicionantes del reparto de las temperaturas*

De los distintos factores que influyen sobre las temperaturas de la capital aragonesa los que pueden ser considerados como más significativos son: la topografía, la distancia a los ríos, las áreas verdes, las características radiativas de los materiales, la densidad de edificación y la intensidad de tráfico. Se ha realizado un análisis de regresión múltiple por pasos para identificar el signo y la magnitud de la relación existente entre la distribución de las temperaturas y las variables consideradas. Los resultados alcanzados, puestos de relieve en el cuadro y mapas adjuntos, podemos resumirlos de este modo:

- La **topografía** es el factor más influyente en el reparto de las temperaturas, con un efecto negativo sobre las mismas. Zonas como La Paz-Torrero o el barrio de San Gregorio, 100 metros más altas que las zonas próximas a la ribera del Ebro, son siempre más frescas, sobre todo en verano. La influencia de la topografía sin duda va unida en Zaragoza a la distancia a los ríos principales, Ebro y Gállego, pues la altitud aumenta conforme nos alejamos del río.
- Lo mismo ocurre en las **áreas de parques y jardines**. La evaluación realizada con el índice de vegetación obtenido a partir de imágenes de satélite, muestra que entre las superficies verdes hay diferencias claras (en función de su extensión, tipo de arbolado, espacio ajardinado, etc), pero en todas ellas las temperaturas suelen ser más bajas que en las áreas edificadas.
- La **estructura urbana** tiene también un peso notable sobre el mapa térmico, en este caso de signo positivo, siendo general que aquellas zonas de mayor densidad urbana (zona centro o barrio de Las Delicias, por ejemplo) registren temperaturas mayores.

FACTORES CONDICIONANTES	CORRELACIÓN ( <i>r</i> )
Distancia a los ríos	-0.57
Elevación	-0.62
Índice de vegetación, NDVI	-0.57
Reflectividad	-0.43
Densidad urbana	0.60
Tráfico	0.15

**Tabla I**

Correlación entre los factores geográfico-urbanos considerados y la distribución espacial de las temperaturas

- La **reflectividad** nos informa de la energía que absorbe y transmite cualquier superficie, y depende de las características de éste (la capacidad de absorción de radiación del ladrillo o el asfalto es muy distinta a la de la vegetación, por ejemplo). Su importancia es asimismo considerable, pues se comprueba que las superficies que absorben mayor cantidad de radiación solar presentan temperaturas más altas. Sería el caso de las plazas y calles amplias, de materiales muy absorbentes y bien expuestas a la incidencia del sol, frente a las zonas menos soleadas, con presencia de arbolado o espacios verdes.
- La influencia que ejerce la **distancia a los ríos** principales, Ebro y Gállego, seguramente va unida a la altitud y se confunde con ella, pues, en correspondencia con la topografía de Zaragoza, la altitud aumenta conforme nos alejamos del río.

- **Tráfico** y temperatura presentan una correlación positiva: a mayor tráfico, ambiente más cálido. Pero, contrariamente a lo esperado, su incidencia es bastante menor que la que tienen los factores anteriores.

### b. Factores condicionantes de la humedad

La humedad del aire es más variable que la temperatura y ofrece mayor dificultad de interpretación. Posiblemente por esta razón, los valores de correlación encontrados entre los distintos factores condicionantes son inferiores a los obtenidos para explicar el comportamiento térmico (véase cuadro adjunto) y existen además otras diferencias significativas:

- La **densidad urbana** y la **vegetación** son los factores fundamentales que intervienen en el mapa higrométrico de Zaragoza. La primera, de signo negativo, pone en evidencia el descenso de la humedad conforme aumenta la densidad de edificación; la segunda refleja la importancia que, por efecto de la transpiración, tienen las formaciones vegetales para mantener valores siempre superiores a su entorno: este sería el caso de los parques y jardines del interior de la capital y las huertas de sus alrededores.
- Destacable es también la acción de la **reflectividad** de las superficies: junto a materiales de alta capacidad de absorción de radiación y, por ello, altas temperaturas, la humedad relativa desciende, como ocurre en muchos sectores del centro de Zaragoza.

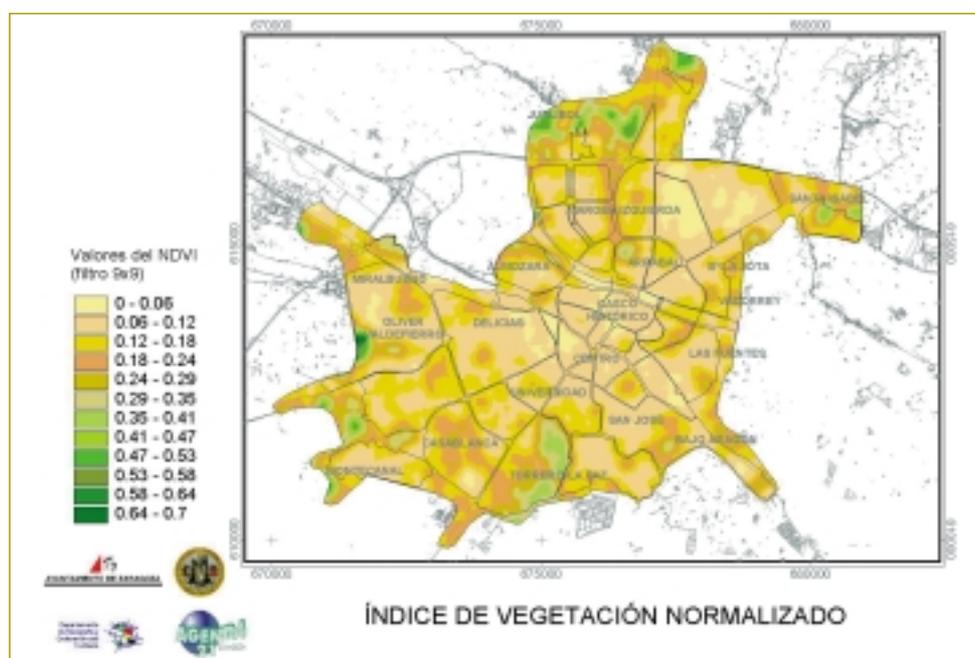
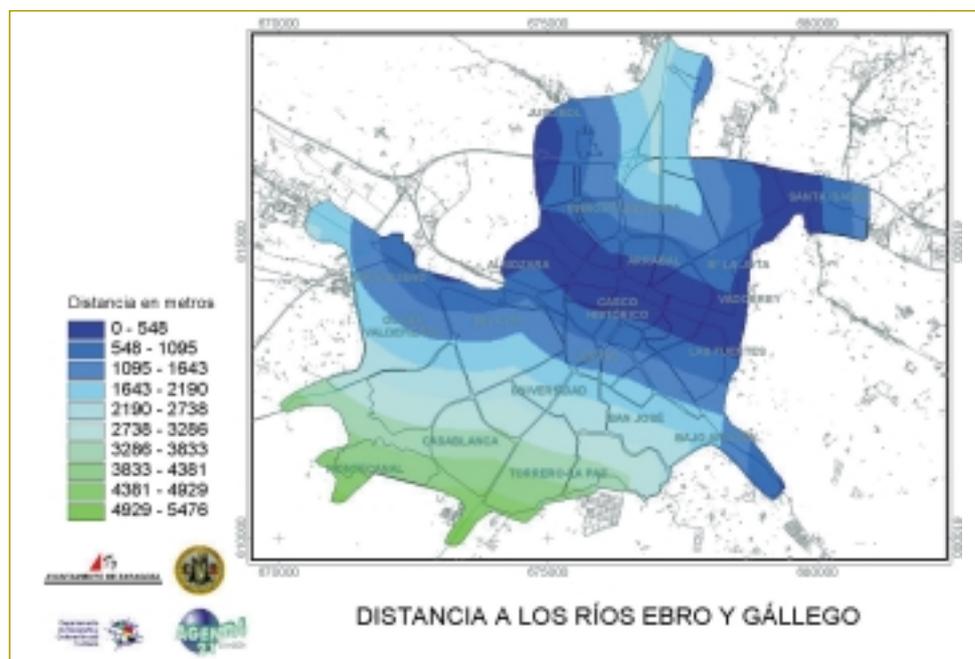
FACTORES CONDICIONANTES	CORRELACIÓN ( <i>r</i> )
Distancia a los ríos	0.28
Elevación	0.31
Índice de vegetación, NDVI	0.54
Reflectividad	0.39
Densidad urbana	-0.55
Tráfico	-0.01

**Tabla 2**

Correlación entre los factores geográfico-urbanos considerados y la distribución espacial de la humedad relativa al aire

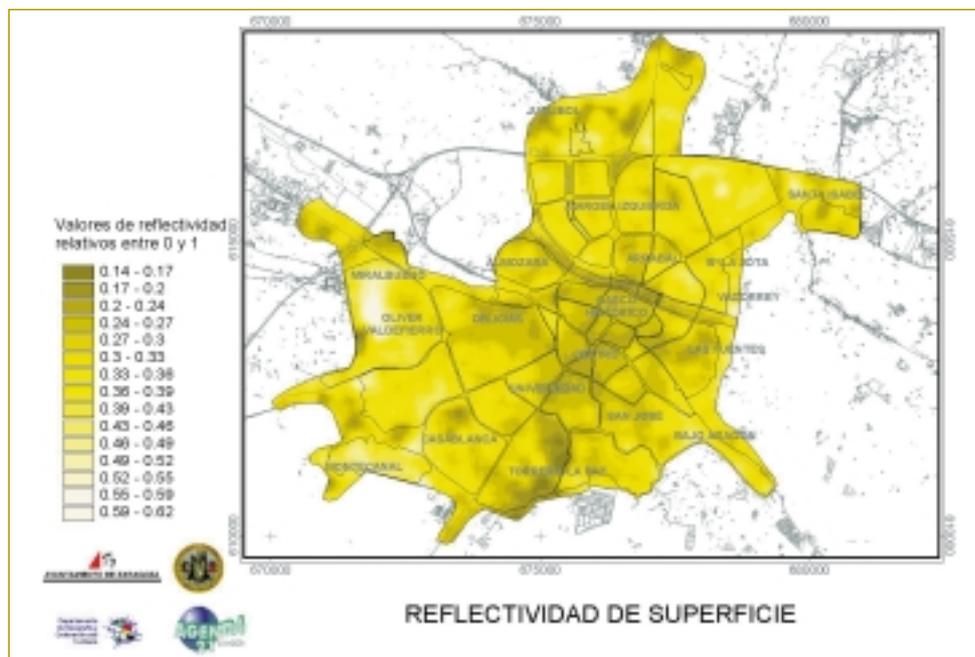
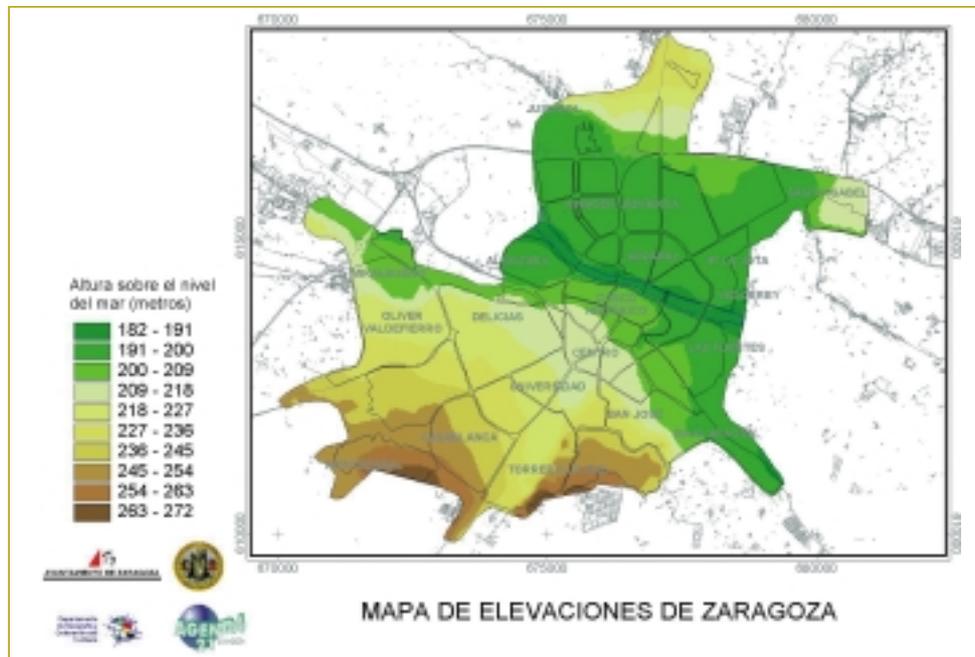
- La influencia que ejerce la **distancia a los ríos** es más débil que la que tienen los factores anteriores; aunque en situaciones concretas de estabilidad atmosférica, con formación de nieblas o neblinas, sobre todo en invierno, las zonas próximas al río Ebro son las más húmedas y donde más pronto alcanza el aire su nivel de saturación.
- El condicionante que supone la **topografía** de la ciudad o, particularmente, el **tráfico** es en la mayoría de las ocasiones muy escasa, por la mayor dependencia que la humedad tiene del resto de los factores.

## FACTORES CONDICIONANTES DEL CLIMA DE ZARAGOZA

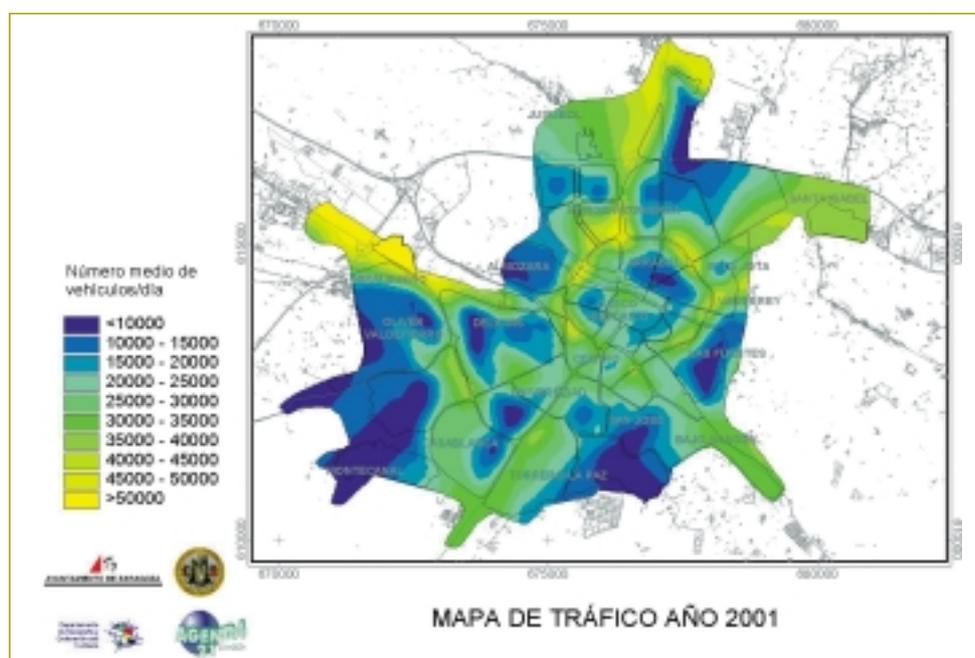
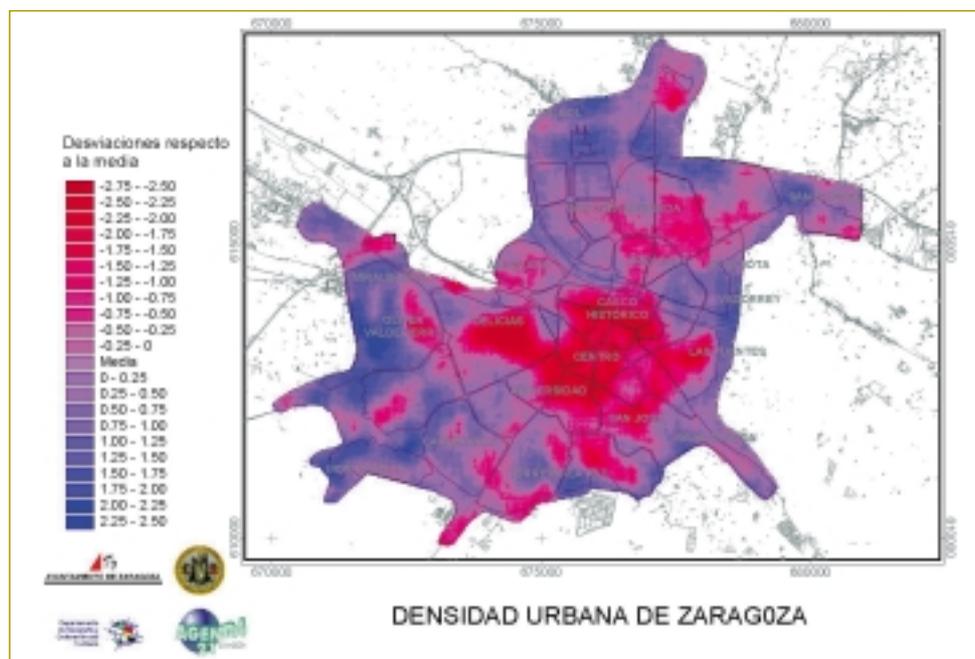


Factores geográfico-urbanos considerados en el análisis multivariante (I)

## FACTORES CONDICIONANTES DEL CLIMA DE ZARAGOZA



Factores geográfico-urbanos considerados en el análisis multivariante (II)

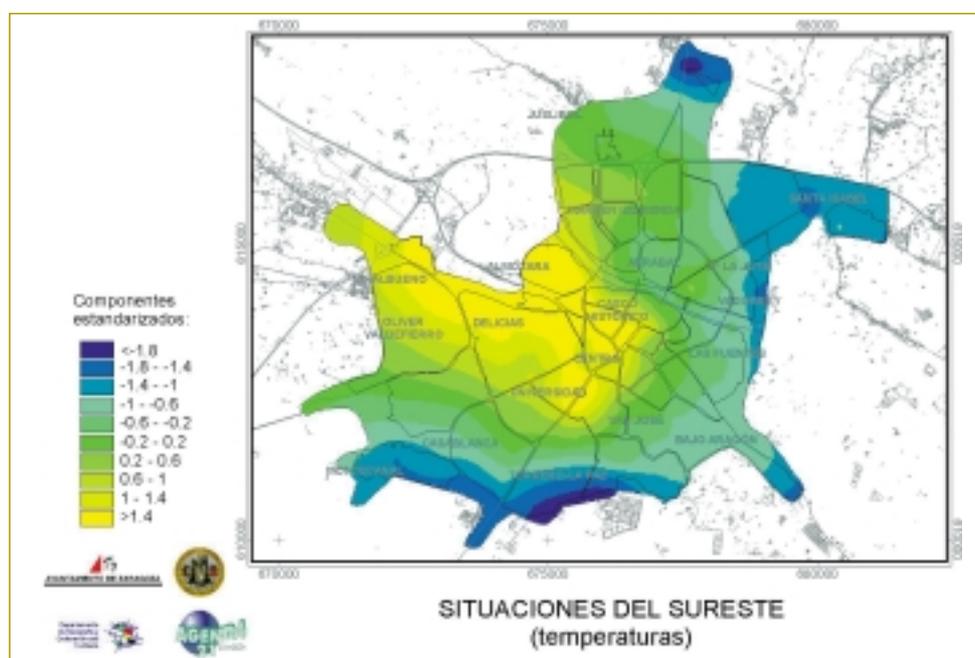
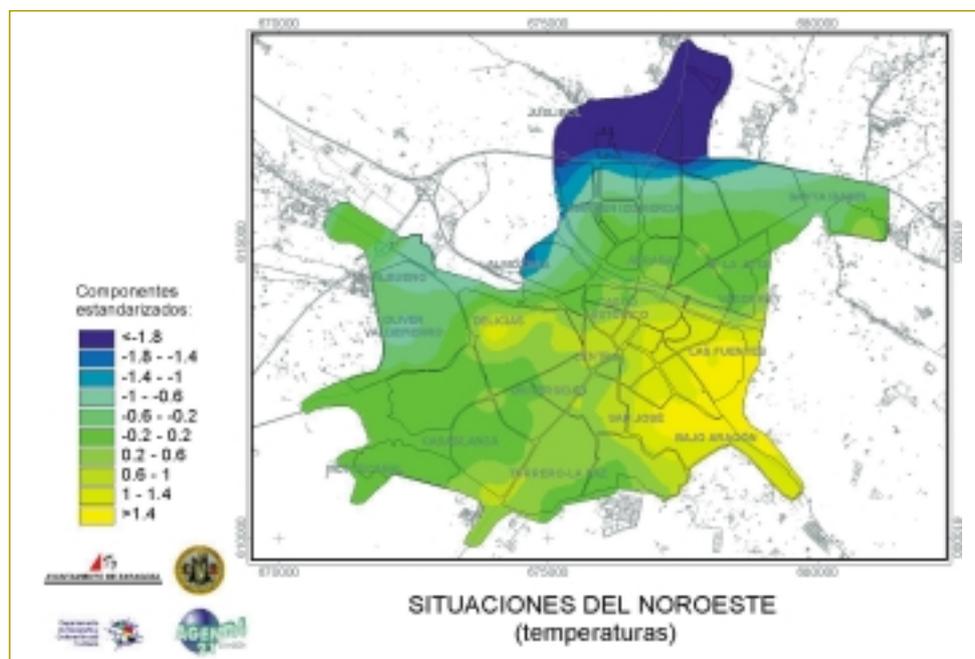


Factores geográfico-urbanos considerados en el análisis multivariante (III)

## 2. Factores atmosféricos: el viento

Por efecto de la topografía del Valle del Ebro, los diferentes flujos de aire de cualquier procedencia adquieren en Zaragoza dos claras componentes: Noroeste, el cierzo, y Sureste, el bochorno. Tanto por su frecuencia como por su intensidad, imprimen caracteres particulares al clima urbano de la capital que podemos concretar en estos hechos:

- Al relacionar cada uno de los días de medición con el modo de reparto espacial de las temperaturas se comprueba que con las situaciones atmosféricas de vientos del NW la isla de calor se desplaza hacia el sector centro-oriental de la ciudad. En el mapa promedio se pone de manifiesto que la isla térmica se localiza en el centro urbano, pero cuando sopla el viento cierzo las temperaturas máximas se mueven hacia el Este: en estas ocasiones las zonas más cálidas del barrio de Las Delicias, Centro o Coso pierden entidad y la ganan el sector de Las Fuentes y Bajo Aragón, donde se localizan ahora los valores térmicos más altos. La diferencia con los barrios occidentales, como Valdefierro, Oliver o Miralbueno se hace patente, y de manera especial con los sectores más abiertos a la influencia del viento, como son la Almozara o Juslibol, donde se experimenta un marcado descenso térmico.
- Bien distinta es la situación cuando sobre Zaragoza sopla viento de bochorno. En estos casos la isla térmica es empujada en dirección hacia el Oeste y la zona Centro, Delicias, Almozara y Valdefierro son las más cálidas. Alrededor de ellas, y dibujando una forma típica de herradura, las temperaturas disminuyen hacia los barrios más periféricos del Este de Zaragoza: Santa Isabel, Vadorrey, Bajo Aragón y Torrero-La Paz.
- Respecto a la humedad, se puede subrayar también la importante relación entre su distribución y los flujos de viento, aunque no siempre es tan nítida como en el caso de las temperaturas: con viento cierzo la isla de sequedad alcanza su máxima expresión en el centro-este de Zaragoza (zona Centro y barrio de Las Fuentes) y en la periferia oriental (Santa Isabel); en el extremo contrario se sitúan los sectores más occidentales, con valores de humedad relativa bastante mayores (Oliver-Valdefierro, Casablanca y Montecanal).
- En el caso contrario, con flujos del Sureste, el efecto es mucho más evidente: las áreas urbanas a sotavento de los vientos dominantes de bochorno (que son igualmente las más cálidas) sufren un importante descenso de humedad relativa que contrasta con la periferia Sur y Este de la capital, donde la humedad ambiental llega a situarse hasta 30 puntos porcentuales más alta; así ocurre cuando se comparan los casos extremos de la zona Centro, Delicias, La Almozara y Miralbueno, muy secos, con Torrero-La Paz, Bajo Aragón y Santa Isabel, bastante más húmedos.



Relación entre la distribución de la temperatura del aire en Zaragoza y los flujos de viento del Noroeste (arriba) y Sureste (abajo)



Nunca como ahora en toda la historia, la sociedad ha estado tan interesada por lo que ocurre en la atmósfera, con la peculiaridad de que, junto a la atracción por el conocimiento de los fenómenos naturales, lo que en realidad ha despertado inusitado interés e incluso preocupación, han sido las posibles alteraciones en el comportamiento del clima y que sea precisamente el hombre el responsable de las mismas.

En la comunidad internacional ha crecido en las últimas décadas la preocupación por identificar la respuesta de la temperatura del aire al sostenido incremento de los gases de efecto invernadero. Fruto de este interés son las conferencias y reuniones internacionales celebradas en los últimos treinta años: en 1972 se celebró en Estocolmo la *1ª Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*, en la que se acuerda profundizar en el conocimiento de las variaciones del clima. En 1988 se constituye el *Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático* promovido por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente cuyo primer informe constató el aumento de las temperaturas por el incremento del efecto invernadero. En 1997, en la *Cumbre de Kioto*, se presenta el segundo informe, que identifica al hombre como principal responsable de las alteraciones del clima, y se reitera la necesidad de un conocimiento más detallado del clima desde la etapa preindustrial, tanto en ámbito regional como local.

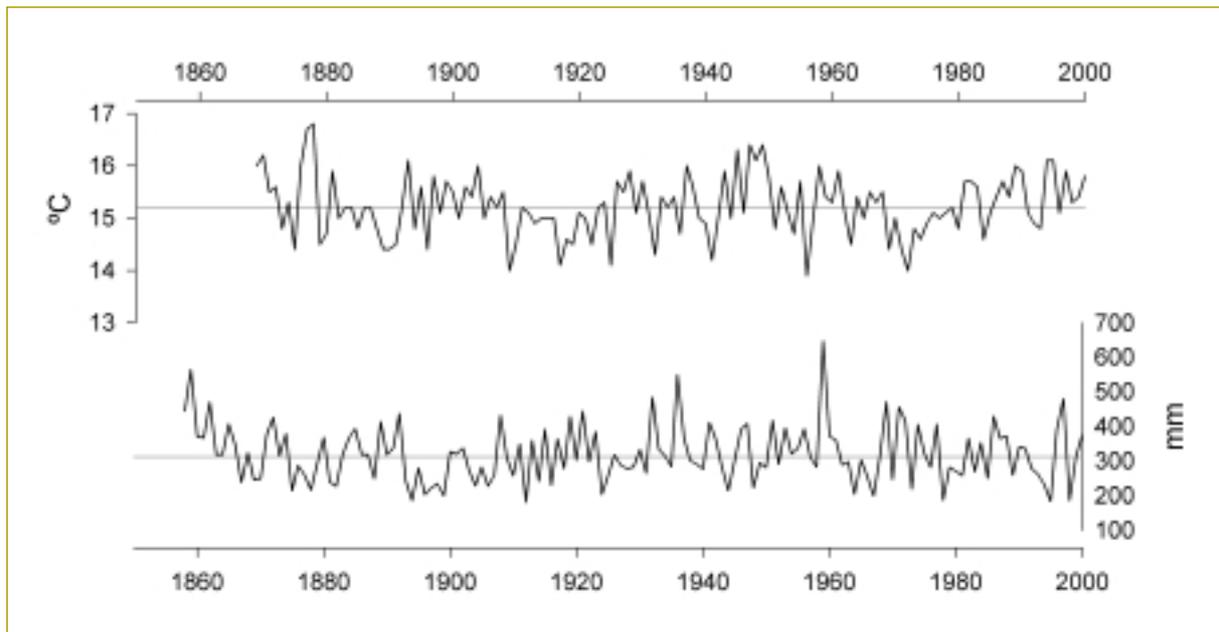
Las investigaciones en esta dirección se hallan constreñidas por los errores incorporados en los registros de datos, que dificultan el alcance de resultados concluyentes. Los errores más comunes son los cambios y sustitución de los instrumentos de medida, los fallos de calibración, las variaciones en las prácticas observacionales, pero, sobre todo, el “efecto urbano”, consecuencia del importante crecimiento urbanístico que como hemos visto ha distorsionado las condiciones ambientales normales o naturales existentes.

En Zaragoza, el primer observatorio meteorológico oficial estuvo situado en las proximidades de la Plaza de las Tenerías y empezó a hacer observaciones en 1856; fue trasladado en diferentes ocasiones a otros puntos de la ciudad y actualmente está ubicado en el aeropuerto, a 10 km de la capital. Por esta razón, la serie temporal de datos térmicos presenta lagunas e inhomogeneidades que han obligado a su reconstrucción y a su homogeneización, siguiendo la metodología más actualizada, para analizar la evolución secular del clima zaragozano.

Con esta información, de casi siglo y medio, comprobamos que las temperaturas en Zaragoza han seguido un curso similar al observado en el conjunto de España, en el que se han sucedido varios episodios cálidos y fríos de diferente intensidad y duración: la década de los años setenta del siglo XIX fue cálida, pero las dos siguientes estuvieron marcadas por valores inferiores a la media del período 1961-1990 (véase gráfico adjunto). Con el cambio de siglo se recuperaron ligeramente hasta dar paso en los años treinta a otro episodio frío de más de veinte años de duración, al que siguió un gradual y continuo ascenso, interrumpido en la década de los sesenta por un nuevo y notable descenso. Desde 1975 y hasta el momento actual las temperaturas han seguido una tendencia ascendente.

Globalmente, desde 1856, aparte de los ciclos descritos, no se observa en las temperaturas una tendencia significativa. En cambio, es relevante el ascenso térmico sostenido de los

últimos años y, sobre todo, el aparente calentamiento de los inviernos, que encuentra su mayor expresión en el incremento de las temperaturas mínimas: 2,5° C en un siglo (es decir, cada vez las temperaturas descienden menos), acentuado además desde los años 50, que respondería tanto a la dinámica presente del clima como al efecto de la isla de calor urbana de Zaragoza.



Evolución de las temperaturas medias anuales (arriba) y de los totales anuales de precipitación (abajo) en Zaragoza. Las líneas rectas grises indican la media del periodo 1961-1990.

Y otra evidencia es el aumento de la variabilidad, que constituye una manifestación más de la presente crisis climática. Aunque los inviernos se distinguen por su relativa suavidad, paradójicamente, las olas de frío han destacado por su intensidad (recuérdese la de enero de 2002). Lo mismo ha venido sucediendo con los veranos, que si bien no se han distinguido por sus altas temperaturas (no se superan los records existentes), por otra parte han sido testigos de fuertes olas de calor que, como las de los meses de junio y julio de este año 2003 han batido records de frecuencia y permanencia.

### CLIMA URBANO, CALIDAD AMBIENTAL Y PLANIFICACIÓN

El hombre, como los demás seres vivos, ha de adaptarse a los límites impuestos por las condiciones climáticas y a las distintas sensaciones que su organismo debe soportar; pero en el ámbito urbano, si la ciudad crea su propio clima, crea también su propio confort o malestar, es decir, puede mejorar o empeorar sus condiciones de habitabilidad, en un claro ejemplo de cómo las condiciones ambientales de la ciudad son también un producto social.

En nuestro caso, sobre un verano extraordinariamente caluroso, el impacto urbano llega a generar situaciones de malestar extremo, pues tanto la isla de calor como la isla de sequedad anulan el ligero refresco de las noches estivales que podemos encontrar en la periferia y en las zonas de parques y jardines. Ello es más grave si tenemos en cuenta que en nuestras latitudes sigue siendo más fácil defenderse del frío que del calor. En el otro extremo, aunque es cierto que la isla de calor prolonga la duración de los períodos de confort durante la escasa primavera y aún más corto otoño, se muestra poco capaz de alterar las frías condiciones del invierno, por lo que las noches de esta estación sólo aparecen algo menos incómodas que las del entorno.

Buen número de otros factores se ha demostrado que ejercen notable influencia sobre las condiciones climáticas de Zaragoza: la densidad de construcción, la reflectividad de los materiales, la topografía, las zonas verdes y los flujos de vientos son los más importantes. Sobre alguno de ellos, los denominados urbanos, se puede intervenir directamente; la acción de los demás puede ser mitigada y, en parte, modificada si se conocen con detalle sus efectos. En el caso del viento, por ejemplo, su frecuencia e intensidad le convierten en ocasiones en un elemento desapacible, que puede en parte evitarse estudiándolo en detalle y consiguiendo protecciones a sotavento que reduzcan su velocidad e incidencia. Los espacios verdes, por su contenido de humedad y por su efecto termorregulador, generan un clima y una sensación de bienestar más estable, que unido a sus ya conocidos beneficios como regeneradores atmosféricos y como espacios de recreo, los convierte en elementos esenciales de la estructura urbana. Ello es aplicable tanto a los grandes parques, como son el Parque Primo de Rivera y Parque del Tío Jorge, como a los parques y jardines de pequeña extensión.

Es verdad que desde hace tiempo estos factores están presentes en todo plan de ordenación, pero cada vez han de cobrar más fuerza como expresión de la capacidad humana para prevenir y evitar graves e irreversibles situaciones de malestar climático y ambiental. Y a la vez, para que los conocimientos adquiridos puedan ser utilizados para la planificación urbana, el producto final debe presentarse de forma cartográfica empleando las poderosas herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica y la capacidad creciente de los medios informáticos disponibles.

**Arquitectura bioclimática:** concepción de la arquitectura que tiene por finalidad la construcción de edificios con unas características que permitan el máximo nivel de confort, aprovechando las mejores condiciones de iluminación, calor natural, ahorro energético, etc. Se trata de un área relativamente moderna dentro de la arquitectura, donde son tenidos en cuenta y aplicados los conocimientos bioclimáticos.

**Calor antropogénico urbano:** calor procedente de los procesos de combustión que se producen en las áreas urbanas e industriales. Este calor influye notablemente sobre la temperatura del aire urbano, haciendo que sea más elevada que la de otras áreas circundantes no urbanas y constituyendo una de las causas directas de las islas de calor.

**Climatología urbana:** especialidad de la Climatología que tiene como objeto de estudio principal el conocimiento preciso de los mecanismos propios del clima urbano y la evaluación de la alteración climática causada por las ciudades.

**Confort climático urbano:** conjunto de condiciones climáticas (especialmente térmicas) en una ciudad o área urbana, que proporcionan sensación de bienestar climático. Generalmente se suele corresponder con una situación donde los mecanismos de autorregulación térmica del hombre son mínimos, quedando definido por los umbrales térmicos entre los cuales un mayor número de personas manifiestan sentirse bien.

**Ecosistema urbano:** conjunto de elementos, procesos e interrelaciones de tipo físico, químico y biológico característicos del medio urbano. Se trata de un ecosistema diferente de los naturales, ya que la ciudad constituye un medio artificial, adaptado a las necesidades de la especie humana. Tanto el clima y los flujos energéticos como el ciclo de nutrientes y su estructura espacial y biológica difieren sensiblemente de los ecosistemas naturales.

**Isla de calor:** anomalía térmica que suele registrarse en los centros urbanos, donde las temperaturas son superiores a las que se dan en su entorno rural. Se trata del efecto más evidente de la modificación climática inducida por la urbanización.

**Isla de sequedad:** anomalía higrométrica que suele registrarse en los centros urbanos, donde los valores de humedad relativa del aire son más bajos que los del medio rural circundante.

**Microclima:** clima correspondiente a un espacio de dimensiones reducidas cuyos rasgos característicos son debidos a las condiciones naturales particulares de su localización o a las modificaciones artificiales inducidas por el hombre.

**Perfil térmico:** representación gráfica de un transecto térmico urbano que muestra las variaciones de la temperatura a lo largo del mismo.

**Transecto o recorrido urbano:** recorrido que atraviesa una ciudad o un área urbana desde sus alrededores o periferia midiendo la temperatura y la humedad del aire en diversos puntos de la ciudad. Generalmente esos recorridos se realizan en automóviles equipados con instrumental meteorológico.