

# **IMPACTOS DE LA EXPANSIÓN URBANA EN LA TEMPERATURA DEL AIRE CERCA DE LA SUPERFICIE Y EN EL BALANCE DE ENERGÍA SUPERFICIAL: ANÁLISIS CON EL MODELO MESOESCALAR WRF PARA MADRID DESDE 1970 A 2020**

***IMPACTS OF URBAN EXPANSION ON NEAR-SURFACE AIR TEMPERATURE AND SURFACE ENERGY BALANCE: WRF MESOSCALE MODELLING ANALYSIS FOR MADRID FROM 1970 TO 2020***

Juan Carbone<sup>(1)</sup>, Beatriz Sanchez<sup>(2)</sup>, Carlos Román-Cascón<sup>(3)</sup>, Alberto Martilli<sup>(2)</sup>, Dominic Royé<sup>(4)</sup>, Carlos Yagüe<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid, España.  
[jcarbone@ucm.es](mailto:jcarbone@ucm.es)

<sup>(2)</sup> Grupo de Modelización Atmosférica, Dpto. Medio Ambiente, CIEMAT, Madrid, España.

<sup>(3)</sup> Dpto. Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, INMAR, CEIMAR, Universidad de Cádiz, Puerto Real, España.

<sup>(4)</sup> Fundación para la Investigación del Clima (FIC), Madrid, España.

## **SUMMARY**

*The aim of this study is to examine the consequences of Madrid's urban growth on the near-surface air temperature and on the Surface Energy Balance (SEB). We conduct a modelling study using WRF-ARW mesoscale model with the multilayer urban parameterization BEP-BEM, in which the land use and the land cover have been modified according to urban expansion in Madrid and its surroundings from 1970 to 2020. Two scenarios of common meteorological conditions of special interest are selected for this study: a period of intense heatwave in summer season and a short period of strongly stable atmospheric conditions in winter, both in 2020. Results show that in areas where the urban fraction become greater an increase in near-surface air temperature is found for both simulated periods, especially during the night, pointing out that the cooling rate decreases in urban areas. The growing of urban land cover over time also modifies the SEB and turbulent transport in Madrid and surroundings, leading to an increase in temperatures, mainly during nighttime.*

La proporción de la población mundial que vive en áreas urbanas ha experimentado un aumento significativo en los últimos 50 años, pasando del 37% al 56%, con proyecciones que indican que esta tendencia continuará, alcanzando el 60% para el año 2030 (Gerland et al., 2022). Este crecimiento en la población urbana genera una mayor demanda de viviendas y servicios públicos, cuyos cambios en la cobertura del suelo y las características de la infraestructura afectan al clima local. Estas áreas urbanas ejercen multitud de interacciones que modifican el intercambio de calor, momento y humedad entre la superficie y la baja atmósfera. Además, redistribuyen el calor de manera distinta a las áreas rurales debido a diferencias en el balance de energía superficial (SEB), lo que resulta en temperaturas más elevadas en estas zonas (Landsberg, 1981). Este fenómeno constituye la causa principal del efecto de isla de calor urbana (UHI) y sigue siendo una de las consecuencias más significativas del aumento de la urbanización, la cual se ve agravada por el calor generado por actividades antropogénicas como el tráfico, la industria, el uso de electrodomésticos, sistemas de ventilación y aire acondicionado especialmente durante el verano (Salamanca et al., 2012).

Este estudio se enfoca en la ciudad de Madrid y sus alrededores (incluyendo el municipio y todas las ciudades satélite circundantes), que han experimentado una fuerte expansión en los últimos 50 años. Entre 1970 y 2020, la población de la región se ha duplicado, y como resultado, la extensión de las superficies construidas ha aumentado en un factor 5 (EEA report, 2006). Para evaluar el impacto del desarrollo urbano en la meteorología local, se emplea el modelo de mesoescala WRF-ARW con el esquema multicapa BEP-BEM diseñado para representar áreas urbanas (Martilli et al., 2002; Salamanca et al., 2010). Se han seleccionado dos períodos representativos: un periodo de intensa ola de calor y un periodo invernal con condiciones atmosféricas estables, ambos observados en 2020. La metodología implica la modificación del uso y cobertura del suelo utilizando mapas realistas del desarrollo urbano de Madrid en 1970 y 2020 (Figura 1).

Este aumento de la urbanización influye en los términos del SEB (Ecuación 1).

$$Q^* = Q_E + Q_H + \Delta Q_S \quad (1)$$

donde  $Q^*$  es la radiación neta,  $Q_E$  el flujo de calor latente,  $Q_H$  el flujo de calor sensible y  $\Delta Q_S$  el almacenamiento de calor en la superficie.

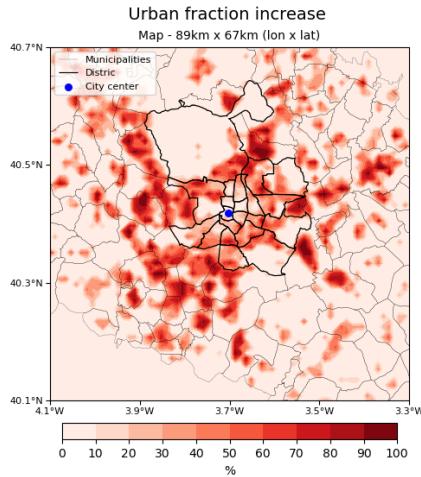


Figura 1 – Diferencia en la fracción urbana (%) en la región de Madrid de 1970 a 2020.

Las zonas urbanas son muy impermeables y tienen menos vegetación, lo que reduce la humedad de suelo y como consecuencia el flujo de calor latente. Además, las características de las superficies urbanas (propiedades de los materiales y la morfología de la ciudad) aumentan el almacenamiento de calor en la superficie, liberándolo durante la noche y exacerbando el aumento de las temperaturas nocturnas. Por lo tanto, la influencia de la expansión urbana en las temperaturas del aire cercanas a la superficie ( $T_a$ ) es más notable durante la noche, resultando en temperaturas mínimas más altas en áreas altamente urbanizadas. El aumento promedio durante la noche es de 1.5°C, para ambos períodos, con áreas específicas alcanzando hasta 7°C en verano y 6.5°C en invierno.

Se discutirá en detalle las diferencias en los distintos términos del SEB para los períodos simulados de invierno y verano debido al desarrollo urbanístico (Figura 2).

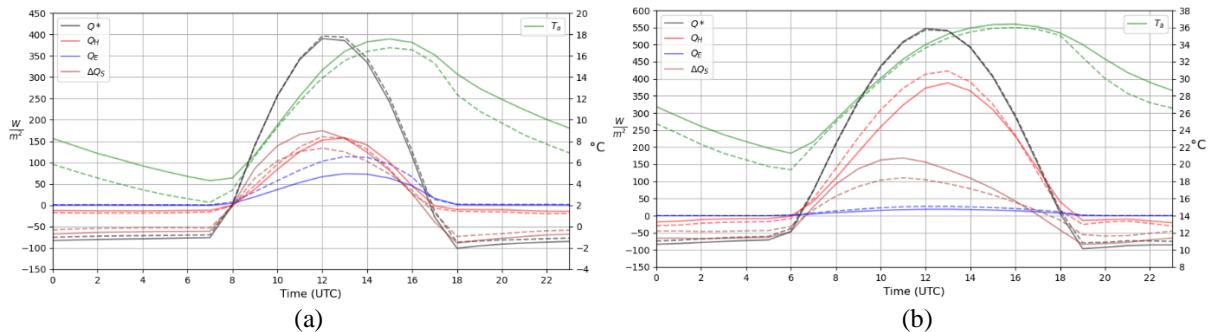


Figura 2 - SEB (líneas discontinuas para 1970 y líneas sólidas para 2020) y  $T_a$  (líneas verdes) para el período estable de invierno (a) y el período de ola de calor (b). Estos son los promedios de todos los días del período para los puntos que han aumentado su fracción urbana entre 1970 y 2020, y se encuentran a una altitud entre 600-700m.

## REFERENCIAS

- EEA report (2006): *Urban Sprawl in Europe: The Ignored Challenge*. EEA report No 10/2006, European Environment Agency.
- Gerland, P. et al. (2022): *World Population Prospects 2022: Summary of results*.
- Landsberg, H. (1981): *The urban climate*. Academic press.
- Martilli, A., Clappier, A., Rotach, M.W. (2002): *An Urban Surface Exchange Parameterisation for Mesoscale Models*. Boundary Layer Meteorol., 104, 261–304.
- Salamanca, F. et al. (2010): *A new building energy model coupled with an urban canopy parameterization for urban climate simulations-part I. formulation, verification, and sensitivity analysis of the model*. Theor. Appl. Climatol., 99, 331–344.

## Agradecimientos

Trabajo financiado por la Comunidad de Madrid y la Comisión Europea bajo el proyecto AIRTEC-CM (S2018/EMT4329). Se agradece al Ayuntamiento de Madrid los datos de sus estaciones de calidad del aire.