
ARTICLES

VALORES DE LAS COMPONENTES DEL BALANCE DE ENERGÍA EN LA SUPERFICIE-ATMÓSFERA EN EL CENTRO DE BARCELONA EN VERANO

M. Carmen Moreno

Universidad de Barcelona
mcmoreno@ub.edu

Ernesto Jáuregui

Universidad Nacional Autónoma de México
ejos@atmosfera.unam.mx

Adalberto Tejeda

Universidad Veracruzana (México)
atejeda@uv.mx

Es bien conocido que en las ciudades la sustitución de la superficie natural originaria por diferentes tipos de cubiertas y pavimentos induce cambios en el clima local. La urbanización es capaz de generar un clima urbano, caracterizado por aspectos, muy bien documentados, tales como la isla de calor, un aumento de la precipitación y de la contaminación atmosférica (Oke, 1979; Landsberg, 1981). Para el estudio del clima urbano también es de gran interés el conocimiento del balance energético en áreas urbanas. El balance de energía para una ciudad puede ser expresado como:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \text{ (Wm}^{-2}\text{)}$$

donde Q^* es la radiación neta, Q_F es el flujo de calor antropogénico, Q_H es el flujo de calor sensible, Q_E es el flujo de calor latente, ΔQ_S es el flujo de calor en la superficie y ΔQ_A es la advección horizontal neta.

La mayoría de los estudios sobre balance de energía urbanos realizados están referidos a áreas suburbanas de Norteamérica. Tal como sugieren Grimmond y Oke (1995) para poder entender mejor los procesos y desarrollar modelos numéricos, es muy importante llevar a cabo mediciones directas de los flujos de calor en un conjunto mucho más amplio de ciudades. No existiendo ningún estudio de estas características sobre ciudades españolas, se consideró de interés realizar una campaña experimental de mediciones del balance de energía en Barcelona, la segunda ciudad más grande del país (478 km²). Los resultados obtenidos

se comparan con los correspondientes a otras ciudades con una morfología urbana similar (como el centro de México, D.F.) o de otras localizaciones geográficas.

La ciudad de Barcelona se encuentra en la costa mediterránea, en la franja oriental de la Península Ibérica, lo que le confiere rasgos propios a su clima mediterráneo. Las temperaturas estivales pueden alcanzar hasta cerca de 30-35° en los meses de julio y agosto. La precipitación media anual es de unos 600 mm, con un máximo en otoño, cuando se producen chubascos de carácter tormentoso y, ocasionalmente, torrenciales. Barcelona presenta claramente el efecto urbano de la isla de calor, cuya máxima intensidad (hasta 8°C) se registra sobre todo en los meses de otoño e invierno, siendo bastante más débil en verano (Moreno, 1994).

El sitio de observación está localizado en el centro de la ciudad, justo en el borde meridional del Ensanche, barrio caracterizado por un plano ortogonal de calles rectas y anchas con dos o más filas de árboles. Al SE se encuentra el casco antiguo de la ciudad con calles más bien estrechas. Los instrumentos fueron instalados en una torre de 9 m de altura en la azotea del edificio histórico de la Universidad de Barcelona, a 37 m de altura sobre el nivel de la calle. Los diferentes instrumentos fueron situados a distintos niveles en la torre, tal como se indica en la tabla 1. Tanto la instalación, como la calibración y el seguimiento de dicho instrumental corrió a cargo del departamento del Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM). Se utilizó el método de correlación turbulenta para medir directamente los flujos convectivos de calor sensible y latente.

Durante la campaña de mediciones (16 al 21 de junio de 2001) prevaleció tiempo muy estable con cielos despejados. El balance energético durante los días totalmente despejados se ha representado gráficamente en la figura 5. El período diurno se caracterizó por valores altos de radiación neta (máximos cercanos a 640 Wm⁻²) en una atmósfera prácticamente libre de smog, en comparación, por ejemplo, con la ciudad de México (440 Wm⁻²), donde la capa de contaminación atenúa la radiación de onda corta. Durante la noche la pérdida de radiación neta fue grande (hasta de -90 Wm⁻²).

En la tabla 4 se recogen los ratios de los flujos del balance de energía en Barcelona bajo condiciones de cielo claro, junto con los obtenidos en otras ciudades. Dado el carácter masivo de los edificios del centro de Barcelona, el almacenamiento de calor es el predominante, tal como era presumible, y es sólo comparable al que muestra el centro de la ciudad de México (Oke et al, 1999) y menor, por ejemplo, que el del distrito industrial en la ciudad de Vancouver. La relativamente húmeda brisa marina y la presencia de árboles de alineación en el sitio de observación y en las calles próximas se refleja en una cantidad relativamente pequeña de flujo de calor (10% de la radiación neta). Aún siendo pequeño, es dos veces el observado en la ciudad de México. Dada la escasa evaporación, las principales componentes de energía son los dos flujos de calor sensible: la conducción hacia el interior de los edificios y el suelo ($\Delta Q_s = 56\%$) y la convección al aire urbano (34%).

Las principales conclusiones del estudio se resumen en que el almacenamiento de calor constituye el sumidero más grande de energía en Barcelona durante el período diurno, con un máximo hacia las 12:00 horas, que continúa durante la tarde, mientras el flujo de calor convectivo alcanzó valores elevados al mediodía, permaneciendo así hasta las 16:00 horas y siendo positivo hasta el atardecer.

El cociente $\Delta Q_s/Q^*$ encontrado en Barcelona durante el día, al igual que el del área central de la ciudad de México, es el más grande de cualquier centro urbano (conjunto denso de edificios con escasa vegetación) de las ciudades consideradas. El valor de la razón de Bowen es, de este modo, casi tan alto (7.1) como el observado en la ciudad de México (9.9). Los densos barrios del centro de Barcelona y de la ciudad de México muestran un reparto de energía similar, en el que predomina el almacenamiento de calor, contrastando con la mayoría de otros estudios de ciudades norteamericanas de baja densidad, con disponibilidad de superficies de agua.

Además, la evaporación es reducida a todas horas, principalmente, durante el período diurno, debido a la advección de humedad procedente del mar y a una presencia no muy importante del verde urbano.

