

DESIREX2008: ESTUDIO DE LA ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE MADRID

J. A. Sobrino¹, G. Sòria¹, R. Oltra-Carrió¹, J. C. Jiménez-Muñoz¹, J. Cuasca¹, V. Hidalgo¹, B. Franch¹, C. Mattar¹, M. Romaguera¹, Y. Julien¹, R. Bianchi², M. Paganini², J. F. Moreno³, L. Alonso³, A. Fernández-Renau⁴, J. A. Gómez⁴, E. de Miguel⁴, Ó. Gutiérrez⁴, M. Jiménez⁴, E. Prado⁴, R. Rodríguez-Cantano⁴, I. Ruiz⁴, F. Nerry⁵, G. Najjar⁵, P. Kastendeutsch⁵, M. Pujadas⁶, F. Molero⁶, A. Martilli⁷, F. Salamanca⁷, F. Fernández⁸, E. Galán⁸, R. Cañada⁸, E. Hernández⁹, J. Hidalgo¹⁰, J. Á. Acero¹⁰, J. M. Romero¹¹, F. Moya¹², L. Gimeno¹³.

¹Universidad de Valencia – Unidad de Cambio Global (UCG). sobrino@uv.es

²Agencia Espacial Europea (ESA), ³Universidad de Valencia – Laboratorio de Observación de la Tierra (LEO),

⁴Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), ⁵Universidad Louis Pasteur, Strasbourg – LSIT, ⁶CIEMAT - Unidad de Polución Atmosférica (Estación Lidar), ⁷CIEMAT - Unidad de Polución Atmosférica (Modelización Atmosférica), ⁸Universidad Autónoma - Madrid (UAM), ⁹Universidad Complutense - Madrid (UCM), ¹⁰Labein-Tecnalia (LABEIN), ¹¹Ayto. de Madrid - Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda – Dpto. de Cartografía, ¹²Ayto. de Madrid- Sistema Integral de Vigilancia, Predicción e Información, ¹³Universidad de Vigo (UVIGO).

RESUMEN

Entre el 23 de junio y el 6 de julio de 2008 tuvo lugar en Madrid la campaña experimental DESIREX2008 (Dual-use European Security IR Experiment 2008), de la agencia espacial europea ESA, con el objetivo de estudiar el efecto de isla de calor en zonas urbanas. La Unidad de Cambio Global de la Universidad de Valencia organizó y participó en la campaña DESIREX 2008, llevando a cabo medidas de parámetros biofísicos como, entre otros, la temperatura del aire, temperatura de la superficie, velocidad y dirección del viento, emisividad y reflectividad de las superficies urbanas y rurales. Dichas medidas se desarrollaron diariamente en mástiles fijos, transectos en automóvil y en puntos de calibración/validación durante las 2 semanas de la campaña y además en coincidencia con el paso de sensores a bordo de satélites como el ASTER/TERRA, TM/Landsat, AATSR/ENVISAT, AVHRR/NOAA, MODIS/TERRA-AQUA, SEVIRI/MSG2 y del paso del sensor AHS a bordo de avión en un total de 30 líneas de vuelo sobre el municipio de Madrid y alrededores. En el presente trabajo se muestran las medidas realizadas en la campaña DESIREX 2008 así como un análisis preliminar de los datos obtenidos y las imágenes adquiridas durante la campaña.

ABSTRACT

From June 23rd to July 6th of 2008, the DESIREX 2008 (Dual-use European Security IR Experiment 2008) experimental campaign from the European Space Agency (ESA) was carried out in the city of Madrid, with the objective of studying the Urban Heat Island (UHI) effect. The Global Change Unit from the Universitat de València organized and took part in the campaign DESIREX2008. Different biophysical parameters were measured, as air temperature, surface temperature, wind speed, wind direction, emissivity and reflectivity of urban and rural surfaces. These measures were taken daily using fixed masts, car transects and calibration/validation points. 30 Flight lines were performed during the campaign, covering the urban area of Madrid and its surroundings with the Airborne Hyperspectral Scanner AHS. In addition, spaceborne images were acquired: ASTER/TERRA, TM/Landsat, AATSR/ENVISAT, AVHRR/NOAA, MODIS/TERRA-AQUA, SEVIRI/MSG2. The data and images obtained during the campaign are shown in this work.

Palabras clave: DESIREX, isla de calor, AHS, temperatura de la superficie, temperatura del aire.

INTRODUCCIÓN

Entre el 24 de junio al 5 de julio de 2008, tuvo lugar en la ciudad de Madrid la campaña experimental DESIREX 2008 (Dual-use European Security IR Experiment 2008), organizada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco de los proyectos de Isla de Calor Urbana (ICU) y termografía urbana (TU) del Data User Element (DUE). Esta campaña nace como parte de las actividades propuestas en la reorientación del programa FUEGOSAT, y fue coordinada por la

Unidad de Cambio Global (UCG) de la Universidad de Valencia (UVG), que realizó medidas a nivel de superficie en colaboración con LSIT, CIEMAT, Ayuntamiento de Madrid, AEMET, UAM, UCM, LABEIN, UVIGO, y CNRM; las adquisiciones a bordo de avión fueron realizadas por INTA. La zona de estudio cubre la ciudad de Madrid, con una población estimada de 3.2 millones y un clima mediterráneo con sequía estival e irregularidad en las precipitaciones. Los inviernos fríos y veranos calurosos son las estaciones más secas, con los máximos de precipitación en otoño y primavera. El

rasgo topográfico más destacado es el río Manzanares, que cruza la ciudad de oeste a este.

En la campaña se obtuvieron datos del sensor aerotransportado multiespectral AHS (Airborne Hyperspectral Scanner), propiedad del INTA, siguiendo dos líneas de vuelo, norte-sur y oeste-este (Figura 1). Se adquirieron imágenes desde satélite de los sensores ASTER/TERRA, TM/Landsat, AATSR/ENVISAT, MODIS/TERRA y AQUA, AVHRR/NOAA y SEVIRI/MSG2 gracias al sistema de recepción de imágenes del Laboratorio de Procesamiento de Imágenes (LPI) de la UVEG, así como a ESA y el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Las medidas in situ consistieron en medidas atmosféricas, calibración del AHS y validación de productos, medidas móviles y fijas de temperatura del aire, humedad y temperatura de superficie, balance de radiación, caracterización espectral de superficies urbanas y termografía urbana.

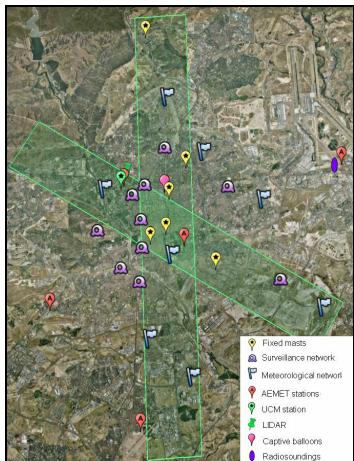


Figura 1.- Líneas de vuelo del sensor AHS y localización de las medidas en tierra y atmosféricas.

INSTRUMENTACIÓN

El sensor AHS a bordo de avión posee 80 bandas espectrales en el rango del visible y próximo infrarrojo (VNIR), infrarrojo de onda corta (SWIR), infrarrojo medio (MIR) e infrarrojo térmico (TIR). Se realizaron medidas de temperatura del aire y humedad relativa con sensores HMP45C (Vaisala), en transectos móviles y sensores Unidata 6501-EU en medidas fijas. En el infrarrojo térmico, se usaron dos radiómetros multiespectrales CIMEL CE-312 y de banda ancha (8–14 μm) Everest 3000.3LC/4ZL, Apogee IRR-P, OPTRIS CS/CT-LT15, Raytek MID, Raytek ST6 y Heitronics KT 19.85. Además se usaron cámaras térmicas, NEC TH9100 y FLIR

P640. En el rango solar se usaron los espektoradiómetros ASD FieldSpec3 y GER 1500.

METODOLOGÍA

En cuanto a imágenes a bordo de avión, se han realizado un total de 10 vuelos de avión a las 11h, 21h, y 4h UTC, del 25 de Junio al 4 de Julio, en dos diferentes direcciones (N-S y O-E), y a diferentes altitudes. A nivel de superficie, AEMET realizó 2 radiosondeos diarios. En los días con vuelo se lanzaron cuatro globos cautivos en el centro de la ciudad. CIEMAT realizó medidas LIDAR para caracterizar los aerosoles. La red meteorológica municipal midió radiación solar, precipitación, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, presión atmosférica y T de aire.

En las actividades de calibración y validación al paso de AHS y ASTER, los sensores CIMEL, RAYTEK y Heitronics, y la cámara térmica NEC, midieron temperatura de la superficie terrestre (TST), emisividad y radiancia descendente (UCG y LSIIT) y con el ASD (INTA) sus reflectividades. Las superficies elegidas fueron hierba en la UAM y agua en el Retiro como foco frío y suelo desnudo en la UAM y cemento del Palacio Real como caliente. Los transectos móviles para caracterizar la ICU se realizaron con cuatro rutas: la ruta 1 en el eje norte-sur, la ruta 2 en una zona urbana densa del centro, la ruta 3 por distintos distritos de la ciudad de densidad media y la ruta 4 desde el Retiro hasta Vallecas. La sonda HMP45AC midió temperatura de aire y humedad y los radiómetros Apogee IRR-P y OPTRIS CS la temperatura radiométrica del suelo. Los transectos de 1 hora de duración se realizaron de forma continua 3 veces al día (4h, 11h y 22h UTC). En 6 zonas de tipo rural, urbana-media y urbana-densa se midió de forma continua la temperatura de aire, humedad relativa, TST, dirección y velocidad del viento, usando sensores UNIDATA en mástiles.

La reflectividad de superficies naturales y artificiales, se midió con los sensores ASD y GER y su emisividad con el sensor CE312-2 mediante el método TES. Algunas superficies medidas son: hierba, suelo desnudo, ladrillo, pavimento, cemento, tela asfáltica, teja, acero, asfalto, granito. Junto con el paso del AHS, se tomaron imágenes térmicas para termografía urbana (Figura 2).

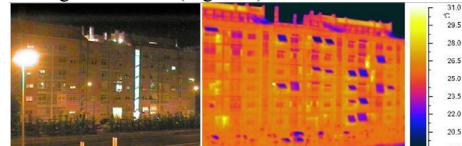


Figura 2- Ejemplo de datos de Termografía Urbana.

RESULTADOS

En la Figura 3 se muestra el resultado de la calibración de las 10 bandas en el TIR, se representa la temperatura de brillo del sensor frente a la simulada a partir de las medidas in situ, aplicando la ecuación de transferencia radiativa y datos atmosféricos mediante MODTRAN4 con sondeos de la zona. Se obtiene un RMSE de 1 K.

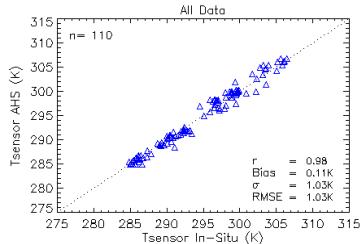


Figura 3.- Comparación entre las temperaturas de brillo a partir de las medidas in situ (Tsensor In-Situ) y las obtenidas de imágenes AHS (Tsensor AHS).

A partir de las bandas TIR se han obtenido mapas de TST aplicando dos algoritmos distintos, el Split-Window (SW) (Sobrino y Raissouni, 2000) que utiliza 2 bandas, siendo las mejores para el AHS la 75 (10.07 μm) y la 79 (12.35 μm) (Sobrino et al., 2006); y el TES (Gillespie et al., 1998), que requiere como mínimo cuatro o cinco (y para el caso del AHS se han utilizado siete). La emisividad se ha generado con el método TES y se ha utilizado para el SW ya que otros métodos, como el de los umbrales del NDVI, no son efectivos en superficies urbanas. Estos dos algoritmos se han validado con 46 puntos, que incluían hierba, suelo desnudo, agua y dos superficies urbanas (tela asfáltica negra y verde). La validación se dividió en dos grupos: vuelos diurnos (mediodía local) y vuelos nocturnos (medianoche local y madrugada). Los nocturnos dan un RMSE menor que los diurnos (Tabla 1). Para la noche se obtienen valores de RMSE de 1.9 K para el SW, que mejoran a 1.4 K en el caso del TES.

Tabla 1.- Valores estadísticos de la validación de los algoritmos TES y SW.

Vuelos	r	Bias (K)	σ (K)	RMSE (K)
SW nocturnos	0.96	-1.2	1.4	1.9
SW diurnos	0.98	0.9	3.2	3.2
SW todos	0.98	-0.0	2.8	2.8
TES nocturnos	0.96	-0.7	1.2	1.4
TES diurnos	0.99	-0.0	3.0	3.0
TES todos	0.99	-0.3	2.4	2.4

Dos mapas de temperaturas de superficie con el TES se muestran para el 28 de junio a mediodía, (Figura 4) y a medianoche (Figura 5). Las imágenes son una composición de las pasadas, Norte-Sur y Este-Oeste. Al mediodía, el rango de temperaturas es de 27 grados, entre 301 K y 328 K. La zona de temperatura máxima se da en el entorno rural. En cambio, para la imagen de noche, tenemos un intervalo de 14 grados, entre 290 K y 304 K. La temperatura es máxima dentro de la ciudad, mientras que los alrededores presentan una temperatura baja.

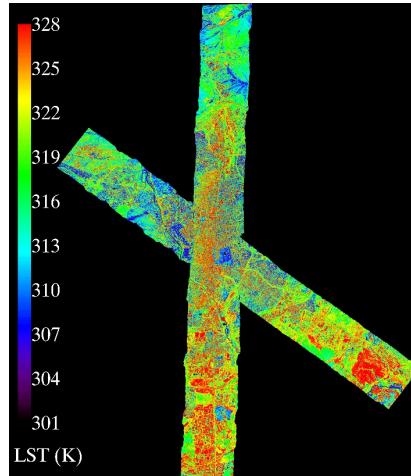


Figura 4.- Mapa de TST con el método TES de las imágenes AHS del mediodía del 28 de junio.

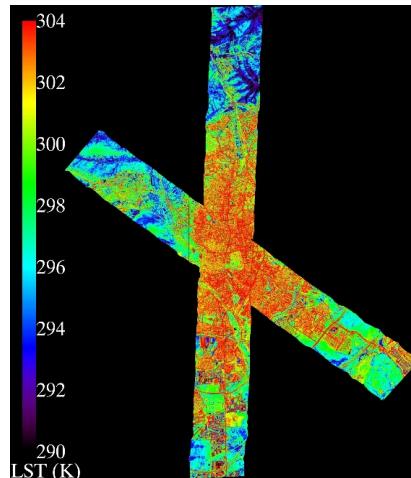


Figura 5.- Mapa de TST con el método TES de las imágenes AHS de la medianoche del 28 de junio.

El análisis de los datos LIDAR muestran evidencias de una intrusión de aerosoles saharianos el 24 de junio, y el 30, en los que la distribución vertical de aerosoles presentó una capa de transporte situada por encima de la capa de mezcla, entre los 1.6 y 3 km en el primer caso y entre 2.5 y 4 km en el segundo. El 2 de julio tuvo lugar un cambio en las condiciones atmosféricas (Figura 6), con la llegada de una masa de aire del Atlántico. El vapor de agua registrado en los sondeos varía entre 1.0 y 2.7 g/cm². Los parámetros atmosféricos muestran una precipitación previa al inicio de la campaña (23 de junio) y una evolución diaria estable en términos de temperatura de aire y humedad relativa, cuya tendencia se rompe el 2 de julio (Figura 7). Los picos en la velocidad de viento registrados en la tarde del 2 de julio (con 5 m/s en la estación meteorológica de Plaza Castilla) confirman el cese de esta tendencia de estabilidad.

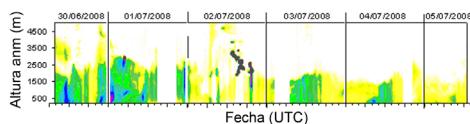


Figura 6.- Evolución de la estructura de aerosoles atmosféricos mediante medidas LIDAR para los 6 últimos días de la campaña DESIREX 2008.

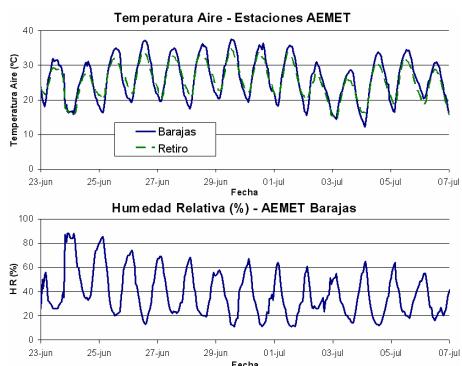


Figura 7.- Evolución de la T del aire y de HR en las estaciones meteorológicas de Barajas y el Retiro.

Siendo el efecto ICU la diferencia de la temperatura de aire entre una zona urbana y una zona rural, podemos estudiar este efecto usando las medidas en mástiles fijos (Figura 8). El efecto ICU es más importante durante la noche, así pues, se han calculado las diferencias en los valores mínimos de la temperatura de aire en horas nocturnas, que muestran una tendencia ascendente desde el inicio de la campaña hasta el 2 de julio.

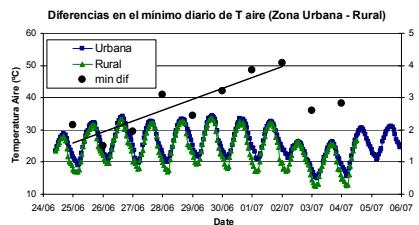


Figure 8.- Evolución de la T del aire en zona urbana y rural. Diferencia del mínimo diario entre ambas.

CONCLUSIONES

La campaña experimental DESIREX 2008 se ha realizado en la ciudad de Madrid para caracterizar el efecto de ICU. Los parámetros atmosféricos y las medidas a nivel de superficie muestran una estabilidad en las condiciones atmosféricas y una acumulación del efecto ICU de hasta 4 K antes del cambio producido el 2 de julio. Se han obtenido mapas de temperatura de la superficie mediante el sensor aerotransportado AHS que permiten observar la evolución de este parámetro durante la campaña.

BIBLIOGRAFÍA

Sobrino, J.A y Raissouni, N. 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring. Application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 353- 366.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Zarco-Tejada, P. J., Sepulcre-Cantó, G. y deMiguel, E. 2006. Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. *Remote Sensing of Environment*, 102, 99-115.

Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothern, J. S., Hook, S. y Kahle, A. B., 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1113-1126.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo en este trabajo a la Agencia Espacial Europea (ESA) (proyecto Dual-use European Security IR Experiment, DESIREX 2008 – 21717/08/I-LG).