

Cambio del tipo de suelo urbano detectado en el mapa térmico de Girona.

A. Riba y J. Jorge

Dep. Física Aplicada. Universitat Politècnica de Catalunya. Avda. Bases de Manresa, 61-73, 08242 Manresa.
ariba@pic.xtec.es, joan.jorge@upc.edu

Resumen

Se ha realizado un análisis de las diferencias térmicas espaciales centradas en la ciudad de Girona. Para ello se han utilizado dos escenas Landsat TM, de mayo de 1991 y septiembre de 1999, observándose la ruptura en diversas islas de calor que provoca el río Ter. Para una ventana de 7.8 x 9.0 km, con objeto de realizar la corrección por emisividad en el canal térmico, se ha procedido a aplicar la ratio TM4/TM5 y discretizar en ella las superficies en tres categorías. Se han detectado importantes diferencias en los intervalos de temperatura en cada imagen, verificándose de forma clara que la ciudad se ha expandido por el norte y que la zona central ha disminuido la proporción de componente asfáltico. La ratio aplicada, no obstante, no ha facilitado la discriminación de los píxeles cercanos a zonas de agua, aspecto muy presente en dicha ciudad.

1. Introducción

El desarrollo industrial ha provocado un aumento de la densidad de población de nuestras ciudades, y ha comportado un cambio de los usos del suelo urbano, mayor número de edificios, aparcamientos, carreteras, y complejos industriales. Los cambios en el tipo de cubierta del suelo, a efectos radiativos, ha favorecido el fenómeno llamado isla térmica urbana (*urban heat island, UHI*). Este fenómeno está fuertemente correlacionado con la densidad de población [1].

La mejora de la calidad de vida en las ciudades depende del tipo de urbanización que se implante en ellas, y será función de la combinación adecuada de una mejor movilidad (vías de circulación más anchas, rondas de circunvalación, islas peatonales, etc.), de más espacios verdes, áreas de concentración de servicios (hipermercados, residencias sanitarias, ciudades deportivas, etc.), de la reserva de áreas destinadas a uso residencial y otras para polígonos industriales, etc. Pero todo ello debe acompañarse, en la fase de diseño, de la exigencia de unas condiciones ambientales de

mayor confort (aire no contaminado, niveles de ruido tolerables, ambiente térmico agradable en verano y en invierno, etc.). Se ha constatado que estas condiciones son interdependientes como, por ejemplo, las elevadas temperaturas de la UHI y el aumento de contaminación por ozono [2].

Tanto las características del suelo, tipo y uso, como las condiciones climáticas de las distintas zonas de una ciudad pueden ser analizadas combinando imágenes de satélite, facilitándose con ello la toma de decisiones urbanísticas.

En ciudades de tamaño medio, como es el caso de Girona (unos 82.000 habitantes y unos 39 km²), las imágenes de sensores de resolución media como el TM del Landsat 5 o el ETM+ del Landsat 7 (120x120 m en la banda térmica), son suficientes para detectar cambios en el tipo de suelo urbano, incluso simplemente a partir de la elaboración de su mapa térmico. Un estudio multitemporal, como el que aquí se presenta, permitiría, además, interpretar mejor las necesidades venideras desde un punto de vista climático, e incluso el planteamiento de una nueva división municipal a efectos fiscales, como se hace en algún otro país.

El propósito de este estudio es verificar que pueden detectarse cambios urbanos a partir del canal térmico infrarrojo (TM6), corrigiendo la emisividad de los píxeles a partir de la información generada en las bandas del infrarrojo próximo (TM4) y del infrarrojo medio (TM5). En particular, se ha utilizado el llamado ratio del infrarrojo medio MR [3], también denominado índice estructural [4], el cual se obtiene calculando la ratio TM4 / TM5. Esta ratio resalta los cuerpos de agua, vegetación y contenido de humedad en cultivos, diferenciándolos del suelo desnudo y asfalto. Se ha preferido el MR a otros índices de vegetación que utilizan la banda del rojo (TM3) basándose en estudios recientes que presentan buenas correlaciones para el MR con la AGB (*Above Ground Biomass*) y la BA (*Basal Area*) y todavía mucho mejores con la ASD (*Average Stand Diameter*) y la ASH (*Average Stand Height*) [5].

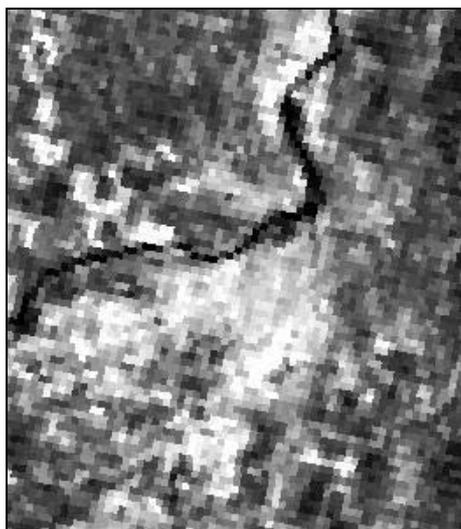


Figura 1: Zona de estudio en la banda térmica.

2. Materiales y método

2.1. Imágenes y preprocesamiento

En este estudio se han utilizado dos imágenes de satélite, correspondientes a la escena 191/33 de Landsat, una del 22 de mayo de 1991 (Landsat 5 TM) y la otra del 9 de septiembre de 1999 (Landsat 7 ETM+). Se ha extraído de cada una de ellas una ventana de 7,8x9,0 km (260x300 pixel) centrada en la ciudad de Girona (484.215,74E, 4.647.943,48N). La figura 1 muestra la zona de estudio; en ella se distingue perfectamente el río Ter y se vislumbra el río Onyar, dejando la trama urbana entre ambos ríos.

A partir de los niveles digitales (ND) se han obtenido las temperaturas de cada píxel. Para ello se ha utilizado la ecuación monocanal de corrección atmosférica procedente de la linealización de la ecuación de Planck [6]. Las hipótesis que simplifican la ecuación de transferencia radiativa son: una atmósfera libre de aerosoles, equilibrio térmico global y atmósfera estratificada en capas plano-paralelas, que en nuestro caso son buenas suposiciones.

Teniendo presente que los efectos atmosféricos para un día y hora concreta tienen poca variabilidad espacial y que el objetivo es la obtención de diferencias de temperatura, este tipo de corrección no es importante. Ahora bien, en primera aproximación, se ha realizado una corrección de los efectos atmosféri-

cos aplicando el llamado método del objeto oscuro (se supone la existencia de cubiertas de fuerte absorptividad, con una radiancia espectral próxima a cero, y atribuible sólo al efecto atmosférico, procediéndose a restar a cada píxel el ND correspondiente, que es el valor mínimo en la imagen).

Para considerar la emisividad a aplicar en cada píxel, de cara a visualizar el campo de la temperatura de superficie, se ha procedido a tomar valores de la emisividad para los diferentes tipos de superficie que se han diferenciado, al combinar las bandas para construir la ratio MR, siguiendo estudios bibliográficos de referencia para otras ciudades mediterráneas [7].

3. Resultados

3.1. Mapa de emisividades a partir de MR

Para las ciudades, se pueden considerar dos tipos de cubierta dominantes, el correspondiente a superficies artificiales y el de las zonas verdes. Hay un tercero que correspondería a píxeles con mezcla de ambos tipos. Analizando sus correspondientes espectros, se observa que la reflectancia en las bandas infrarrojo próximo (TM4) e infrarrojo medio (TM5) es muy diferente. Ello permite aventurar que la aplicación de la ratio $MR = TM4 / TM5$ puede resultar de gran utilidad para discriminar estas tres zonas de diferente emisividad.

Basándose en la MR se ha procedido a discretizar las cubiertas de suelo urbano en tres categorías, a cada una de las cuales se puede atribuir una emisividad en consonancia con las referencias bibliográficas. Se han agrupado los siguientes casos:

- $MR < 1$: domina suelo sin vegetación, $\varepsilon = 0.930$
- MR entre 1 y 2.2 : simultaneidad de vegetación y suelo artificial
- $MR > 2.2$: domina la vegetación o el agua, $\varepsilon = 0.985$

Al calcular la ratio para las dos escenas referidas (figuras 2 y 3) se comprueba en ambas que el río presenta valores ratio extremadamente altos, superiores a 2.2, se detectan también otras dos zonas con valores muy altos, al nordeste de Sant Ponç-Domeny (no edificado) y al sudeste en la zona limítrofe a los edificios. Existe una zona al sur del río, en la parte central, correspondiente a una zona verde con valores superiores a 1.5 (Dehesa del Mercadal). Se observa que el valor del ratio entre 0.25 y 1.0 corresponde en su inmensa mayoría a zonas edificadas.

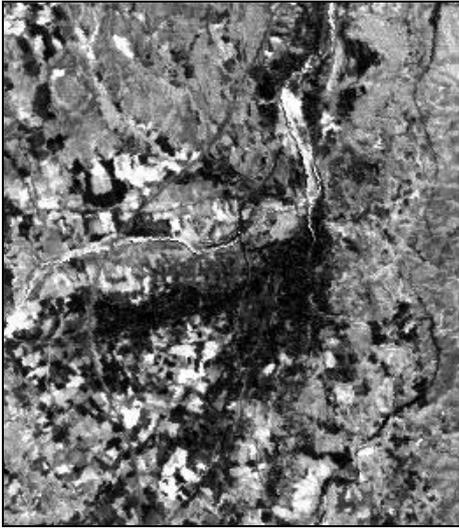


Figura 2: MR (1991).

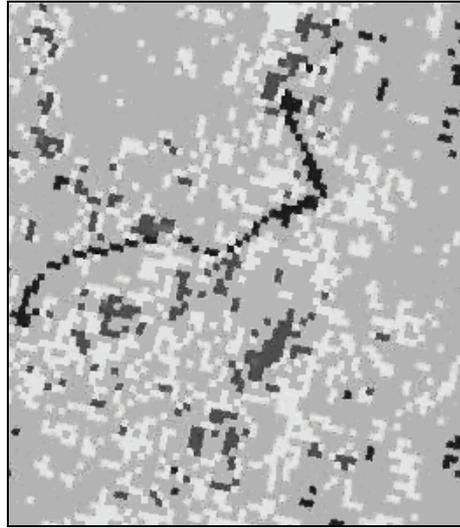


Figura 4: Mapa térmico (1991).

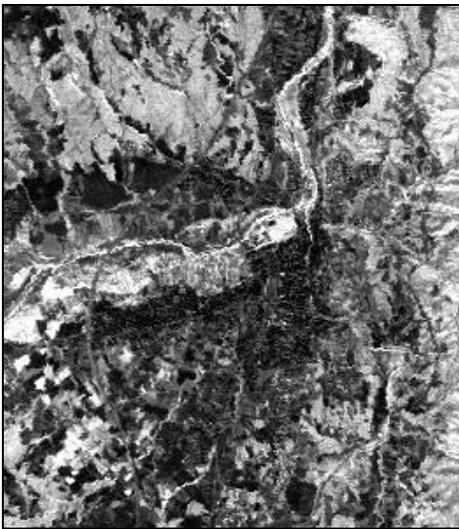


Figura 3: MR (1999).

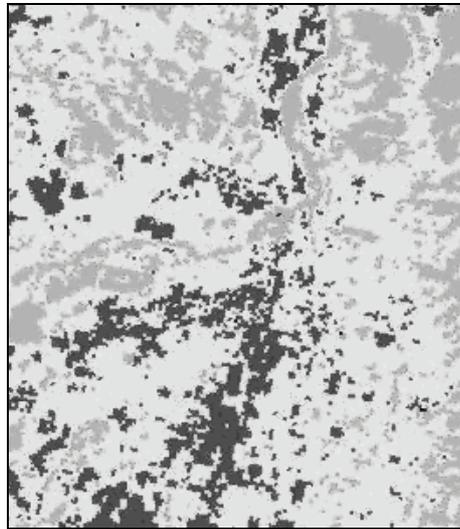


Figura 5: Mapa térmico (1999).

3.2. Análisis de la temperatura de superficie

En la imagen de mayo de 1991 se han encontrado valores de ND entre 124 y 172 (entre 18,3°C y 37,9°C) y en la imagen de septiembre de 1999 los valores de ND se han situado entre 131 y 161 (17,6°C – 25,9°C), antes de aplicarse la corrección del objeto oscuro, el cual se ha tomado

para el píxel de referencia C1 de la cartografía municipal, asociado a una zona homogénea de vegetación. Después de la corrección se ha obtenido en el píxel una temperatura de 7,3°C (1991) y 17,6°C (1999), similar a las medidas instrumentales.

En los dos mapas térmicos resultantes (figuras 4 y 5) se distinguen muy bien los píxeles correspondientes al río Ter (de 7.4 a 11.8°C) que provoca la

ruptura de la isla de calor urbana en varias islas. No se observa la continuidad sur del río debido a que en esa zona el río disminuye considerablemente su anchura. La isla más importante se encuentra situada en la zona de mayor edificación, al sur del río, presentando píxeles con una diferencia temperatura de hasta 21.7°C. Las otras islas están situadas en los barrios de Sant Ponç-Domeny, al oeste, con valores máximos de temperatura entre 25.7 y 29.1°C; de Pedret y Germans-Sabat, en la zona central al norte del río, y de Pont Major-Campodrà, al nordeste. Existe otra isla al norte de la imagen y al oeste del río, sin edificaciones en el mapa del municipio pero visibles en las imágenes de satélite. Se observa, también la pequeña isla correspondiente a la Font de la Pólvara y Vila Roja, la más al sureste de la imagen. Las mayores diferencias de temperatura que se producen son entre los píxeles de 12.3°C (omitidos los del río) y 29.1°C, por lo tanto una diferencia de 16.8°C a nivel del suelo.

En la zona central tenemos la isla de calor del Eixample y Can Gubert del Pla con importantes valores de temperatura. Situándonos más hacia el sur podríamos observar como isletas de calor, la zona al sudoeste, el barrio de Sant Narcís y un poco más al sureste el de Palau, de menor tamaño. Las zonas situadas al sur corresponden a zonas con vegetación.

3.3. Comparativa entre las dos imágenes.

Se observa un intervalo de temperaturas de 20.1°C en mayo del 91 y de 11.9°C en septiembre del 99. La gran diferencia de temperatura entre ambas imágenes es atribuible al dispar comportamiento de los materiales según la temperatura en cada una de las épocas del año, presentando una mayor insolación en mayo que en septiembre. Se puede observar la diferencia de vegetación y edificación de ambas imágenes en las escenas de color natural.

Aunque hay diferencias de rango de temperaturas, el comportamiento térmico en las dos imágenes presenta grandes similitudes en cuanto a la disposición geográfica de las islas, lo cual lleva a suponer que la aplicación de imágenes Landsat al estudio de la isla térmica es una buena herramienta.

4. Conclusiones

De las imágenes de satélite se puede obtener de manera rápida y eficaz el valor de la temperatura en superficie con un error máximo de 0.4°C y 0.1°C mínimo, debido a la aplicación de la ecuación monocanal y un error de 0.6° máximo debido al diferente valor de la emisividad. A diferencia de la determinación de UHI por el método de transectos, la banda térmica permite obtener el campo de

temperaturas en toda la ciudad sin interrupciones debido al entramado urbano.

La ratio infrarrojo medio se ha mostrado eficaz para la localización diferencial de cubiertas de distinta emisividad, si exceptuamos algunos píxeles cercanos a zonas de agua.

5. Referencias

- [1] Lo, C.P., and Faber, B.J., "Integration of Landsat Thematic Mapper and Census Data for Quality of Life Assessment." *Remote Sensing of Environment*, 62, 143-157, 1997.
- [2] Lo, C.P., and Quattrochi, D.A., "Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69 (9), 1053-1063, 2003.
- [3] Copin, P. R., and Bauer, M. E., "Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32 (4), 918-927, 1994.
- [4] Price, K.P., Guo, X., and Stiles, J.M., "Optimal Landsat TM band combinations and vegetation indices for discrimination of six grassland types in eastern Kansas", *Int. J. Remote Sensing*, 23, 5031-5042, 2002.
- [5] Lu, D., Mause, P., Brondizio, E. and Moran E., "Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin", *Forest Ecology and Management*, 198, 149-167, 2004.
- [6] Sobrino, J.A., Raissouni, N., Kerr, Y., Olioso, A., López-García, M.J., Belaid, A., El Kharraz, M.H., Cuenca, J., Dempere, L., *Teledetección*. Sobrino, J.A. (Ed.), Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia, pág. 183, 2000.
- [7] Valor, E., et al. "Análisis comparativo de del efecto de la isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, Must y AVHRR." *Revista de Teledetección*, 14, 2000