Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos

Aplicaciones de Tecnologías de la Información Geográfica a la planificación y gestión municipal

Santiago Linares
(coordinador)

Autores: Gustavo Buzai | Adela Tisnés | Juan Pablo Celemín | Natasha Picone
Inés Rosso | María Lorena La Macchia | Mauro Ortmann

Prólogo de Antonio Moreno Jiménez

Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos

Aplicaciones de Tecnologías de la Información Geográfica a la planificación y gestión municipal

Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos

Aplicaciones de Tecnologías de la Información Geográfica a la planificación y gestión municipal

Santiago Linares
(coordinador)

Adela Tisnés

Gustavo Buzai

Inés Rosso

Juan Pablo Celemín

María Lorena La Macchia

Mauro Ortmann

Natasha Picone

Santiago Linares

Prólogo: Antonio Moreno Jiménez

Soluciones espaciales a problemas sociales urbanos : aplicaciones de tecnologías de la información geográfica a la planificación y gestión municipal / Adela Tisnés ... [et al.] ; coordinación general de Santiago Linares ; prólogo de Antonio Moreno Jiménez. - 1a ed . - Tandil : Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2016.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-658-392-7

1. Municipalidad . 2. Relaciones Estado y Sociedad. 3. Geografía Cultural. I. Tisnés, Adela II. Linares, Santiago , coord. III. Moreno Jiménez, Antonio, prolog.
CDD 307.76

© 2016 - UNCPBA
Tandil, Buenos Aires, Argentina
www.unicen.edu.ar

1ª edición: junio 2016

Este libro fue sometido a evaluación externa por la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Los evaluadores convocados fueron el Dr. Cristián Gonzalo Henríquez Ruiz (Pontificia Universidad Católica de Chile) y el Mg. Heinrich Hasenack (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil).

Diseño de tapa, diseño interior y maquetación
María Cecilia Aimaretti

ISBN 978-950-658-392-7

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Índice

Prefacio 7

Prólogo 9
Antonio Moreno Jiménez

Geografía aplicada
Capítulo 1. Geografía aplicada a la solución de problemáticas sociales 17
Gustavo D. Buzai

Aplicaciones a servicios sociales
Capítulo 2. Asignación territorial de recursos en políticas sociales 33
Santiago Linares
Capítulo 3. Determinación de recorridos óptimos en servicios sociales de transporte 45
Santiago Linares y Mauro Ortmann

Aplicaciones a la salud
Capítulo 4. Distribución espacial de la morbilidad según causas 55
Adela Tisnés
Capítulo 5. Análisis de determinantes ambientales y socioeconómicos 69
Adela Tisnés

Aplicaciones a la educación
Capítulo 6. Utilización de modelos de localización-asignación para instalaciones educativas 83
Santiago Linares y Mauro Ortmann
Capítulo 7. Accesibilidad a escuelas públicas aplicando modelos de interacción espacial 97
Juan Pablo Celemín

Aplicaciones catastrales
Capítulo 8. Actualización y análisis de la valuación fiscal del suelo urbano 109
María Lorena La Macchia
Capítulo 9. Diagnóstico y regularización del uso de suelo comercial 117
María Lorena La Macchia

Aplicaciones a obras públicas y servicios
Capítulo 10. Evaluación del consumo y suministro de agua corriente 129
Inés Rosso
Capítulo 11. Optimización del programa de gestión integral de residuos sólidos urbanos 139
Inés Rosso

Aplicaciones a la gestión ambiental
Capítulo 12. Teledetección para mejorar la regulación térmica al interior de las ciudades 151
Natasha Picone
Capítulo 13. Detección de áreas urbanas con peligro de inundaciones 161
Natasha Picone

Consideraciones finales 171
Santiago Linares

Autores 175

Aplicaciones a la gestión ambiental

Capítulo 12

Teledetección para mejorar la regulación térmica al interior de las ciudades

Natasha Picone

Introducción

La teledetección ha significado un gran avance para el monitoreo de la superficie terrestre. Desde 1972, con el lanzamiento del primer satélite Landsat, se han obtenido de manera continua imágenes satelitales de todo el mundo, lo que ha permitido analizar la dinámica terrestre a largo plazo (De Jong y Van Der Meer, 2005).

La utilización de esta fuente de información es de gran importancia para el desarrollo de estudios multitemporales sobre todo en áreas donde los registros oficiales son inexistentes y/o deficientes. La información recabada por los distintos sensores es muy variada, por lo que se ha podido desarrollar estudios de monitorio ambiental, urbano, búsqueda de recursos e incluso aplicaciones militares (Weng, 2010).

Dentro de la climatología urbana, el fenómeno más estudiado es la *isla de calor*, la cual hace referencia a la presencia de mayores temperaturas en el centro de la ciudad. Dicho fenómeno ha sido estudiado con distintas metodologías como: las estaciones fijas, la medición en transectas y la más reciente a partir de la banda térmica de las imágenes satelitales (Voogt y Oke, 2003)

El primer trabajo que utilizó imágenes satelitales para estudiar el fenómeno térmico urbano fue Matson et al. (1978). En él se analizó la intensidad de la *isla de calor* para varias ciudades de Estados Unidos con imágenes del sensor AVHRR del programa NOAA. Las ciudades estadounidenses son las que presentan mayor cantidad de trabajos en los que se relacionan los comportamientos térmicos y los valores del Índice de Vegetación Estandarizado o NDVI (Gallo et al., 1995), como así también el análisis de la distribución espacial de la temperatura al interior de las ciudades (Aniello et al., 1995).

Utilizando la misma metodología, Carnahan y Larson (1990) fueron los primeros en documentar el fenómeno de *isla fría*, que consiste en menores temperaturas en el centro urbano con respecto a sus alrededores. El mismo fenómeno fue detectado por Pérez González y García Rodríguez (2002) y Pérez González et al. (2003) en varias ciudades españolas con distintos sensores. Peña (2009) encontró una *isla fría* en Santiago de Chile, asociada a las coberturas que dominan en cada área analizada. En todos los casos esta distribución térmica se detectó durante la mañana, según Carnahan y Larson (1990), ésto se debe a que las zonas verdes presentan una menor diferenciación térmica

a lo largo del día, y muestran mayores temperaturas durante la mañana que las coberturas construidas, las cuales durante la noche pierden la energía y la temperatura ganada durante el día previo.

Este trabajo presenta el análisis de la isla térmica de la ciudad de Tandil y su relación con las coberturas verdes al interior de la ciudad en una serie temporal de 25 años. Para ello se utilizaron imágenes satelitales del Landsat 5 TM de 1987 y 2011. A partir de cada una de ella se calculó la temperatura de superficie y el Índice de Vegetación Estandarizado (NDVI). Conocer los cambios generados por las ciudades tanto a nivel térmico como de uso de suelo es de gran importancia para poder realizar políticas de planificación urbana tendientes a mejorar la calidad de vida de las personas que viven en ellas.

Metodología

Para analizar la isla térmica urbana y la vegetación se utilizaron imágenes satelitales del Landsat 5 TM que fueron descargadas de la página web del Servicio Geológico de Estados Unidos – USGS (glovis.usgs.gov). Todas poseen una calibración radiométrica y geométrica previa. Las imágenes pertenecen al Path 225 Row 86 correspondientes al área de Tandil y fueron tomadas alrededor de las 10:30 a.m. Se seleccionaron dos imágenes de primavera, una correspondiente al 22/10/1987 y otra del 24/10/2011. Ambas fechas corresponden a condiciones atmosféricas similares, típicas de la estación. Además, el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) varía entre 1 y -1, por lo cual el contenido de agua en el suelo es semejante, lo cual permite comparar los valores de la temperatura superficial de las imágenes.

En primer lugar, se convirtieron los valores de cada pixel (Número Digital) a un valor radiométrico para eliminar el ruido que generan los propios sensores (Chander et al. 2009; Chuvieco, 2010). Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$L\lambda = G * ND + B \quad [1]$$

donde L_λ es el valor de radiancia del pixel, ND es el número digital del pixel, G (Gain) y B (Bias) de cada banda del sensor TM fueron obtenidos de Chander et al. (2009).

A partir de dichos valores se procedió a realizar la corrección atmosférica de las bandas del visible y el infrarrojo cercano, utilizando el método de sustracción de objetos oscuros (Chavez, 1989). Este método postula que los efectos atmosféricos sobre la radiación solar aumenta los valores de ND en áreas de

agua limpia, profunda y calma, las cuales por sus características físicas deberían presentar valores de reflectancia próximos a cero. Para lograr la corrección atmosférica se sustrae en cada banda la diferencia entre el valor teórico y el almacenado por el sensor de dichas áreas de la imagen.

Toda conversión de radiancia a reflectancia tiene como variables centrales de corrección la fecha de toma de la imagen y el ángulo de incidencia solar, para lograr una comparación de los parámetros físicos obtenidos en distintas imágenes (Chuvieco, 2010). De esta manera la fórmula para la conversión de radiancia a reflectancia corregida atmosféricamente es:

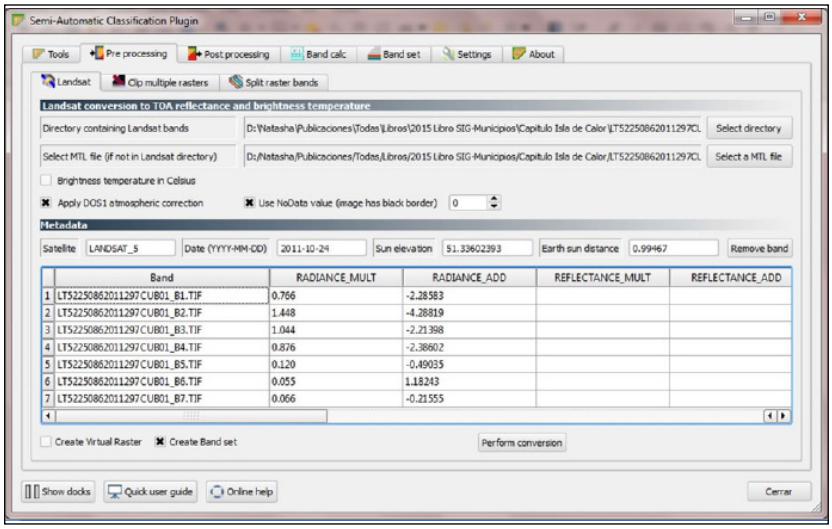
$$Ref\lambda = \frac{\pi * D^2 * (L\lambda - Lhaze)}{Esun * cos\theta * \tau} \qquad [2]$$

$$Lhaze = Lmin - \frac{0.01 * \cos\theta * Tz * Esun}{\pi * D^2} \qquad [2a]$$

donde D es el factor corrector de la distancia Tierra-Sol, L_λ corresponde a la radiancia espectral recibida por el sensor en la banda a corregir, *Esun* es la irradiancia solar en el techo de la atmósfera para esa banda del espectro (se obtiene de Chandler et al., 2009), θ es el ángulo de incidencia solar y τ es la trasmisividad atmosférica que afecta al rayo incidente (en el caso del modelo de sustracción de objetos oscuros es igual a 1), L_{haze} es la radiancia atmosférica debida a la dispersión y se estimaría a partir del valor mínimo (L_{min}) del objeto oscuro seleccionado [2a], Tz es 0.85 y 0.91 para las bandas 3 y 4 del Landsat 5 TM.

En este trabajo se utilizó el módulo SCP v 4.0 (Semi-Automatic Classification Pluggin) del QGIS 2.8. El mismo permite la corrección atmosférica de todas las bandas del Landsat de manera automática mediante el método de corrección atmosférica DOS. Como se puede observar en la Figura 1, los requerimientos para dicha corrección es el directorio original donde se encuentran todas las bandas y el archivo de metadatos de la imagen, normalmente con extensión MTL. Para aplicar el método de corrección se debe marcar la opción *Apply DOS1 atmosferic correction*. En el cuadro inferior se muestran las variables de corrección: el sensor al que pertenece la imagen, el día de la toma, la elevación del sol, la distancia Tierra-Sol y los Gain y Bias de cada banda.

Figura 1. Módulo de pre-procesamiento Landsat del SCP - QGIS



Fuente: imagen del SCP - QGIS

Este método no es aplicable para la corrección atmosférica del espectro térmico, ya que la variable física que se busca obtener no es la reflectancia sino la temperatura. Es por ello que para realizar dicha corrección se utilizó el método de Jimenez Muñoz y Sobrino (2003), cuya fórmula es:

$$Ts = \gamma * [\varepsilon^{-1} * (\psi 1 * L\lambda + \psi 2) + \psi 3] + \delta \quad [3]$$

Las variables necesarias para esta corrección atmosféricas son: L_λ corresponde a la radiancia espectral recibida por el sensor en la banda a corregir; γ [3a] y δ [3b] que son constantes propias de cada imagen; ψ1 [3c], ψ2 [3d], ψ3 [3e] que son modelos atmosféricos de proporción de agua presentes en el área de estudio; y ε es la Emisividad de cada una de las superficies presentes en la imagen [3f]. A continuación, se detallan las fórmulas de cada una de las variables.

$$\gamma = \left\{ \frac{c2 * L\lambda}{T^2} \left[\frac{\lambda^4}{c1} * L\lambda + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad [3a] \qquad \delta = -\gamma * L\lambda + T \quad [3b]$$

T es la temperatura de brillo de la banda 6 del Landsat 5, c1 = 1.19104 10^8 W μm^4 m^{-2} sr^{-1} y c2 = 14387.7 μm K.

$$\psi 1 = 0.14714 * \omega^2 - 0.15583 * \omega + 1.1234 \quad [3c]$$

$$\psi 2 = -1.1836 * \omega^2 - 0.37607 * \omega - 0.52894 \quad [3d]$$

$$\psi 3 = -0.04554 * \omega^2 + 1.8719 * \omega - 0.39071 \quad [3e]$$

donde ω que es la cantidad de vapor de agua que existe en la columna de aire (se obtiene http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).

El cálculo de Emisividad de cada pixel se obtiene de la relación de vegetación y suelo que presente cada uno. Para ello se calcula el NDVI y con él el valor de Proporción de Vegetación (PV) de cada unidad mínima de la imagen. Luego se multiplica por los valores de Emisividad teóricos propios de la vegetación y el suelo.

$$\varepsilon = \varepsilon v * PV + \varepsilon s * (1 - PV) \quad [3f]$$

$$PV = \frac{(NDVI - NDVImin}{(NDVImax - NDVImin} \quad [3f1] \qquad NDVI = \frac{(TM4 - TM3)}{(TM4 + TM3)}$$

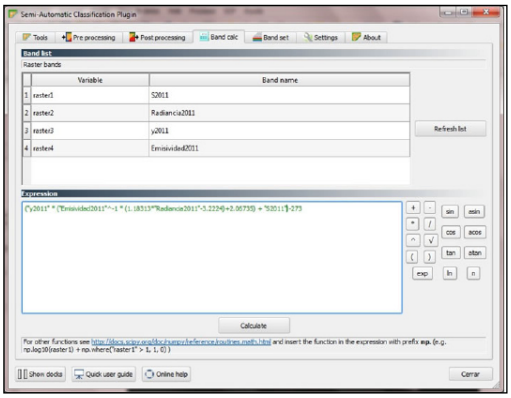
donde εs = 0.965, εv = 0.980

El resultado obtenido de Temperatura superficial [3] se expresa en °K por lo que para expresar dicha temperatura en °C se debe restar al resultado obtenido 273 que es el cero kelvin. Cabe recordar que la temperatura de superficie que se obtiene de los sensores no es comparable con la temperatura ambiente. Esto se debe a que la primera refleja la temperatura de cada cobertura (vegetación, chapa, cemento, etc.) mientras que la segunda es resultante de diversos procesos energéticos entre la superficie terrestre, la atmosfera y la radiación del sol.

Todas estas fórmulas se pueden calcular en cualquier calculadora raster de un SIG, en el caso de este trabajo es utilizado el BandCalc perteneciente al módulo SCP v4.0 del QGIS 2.8 (Figura 2). Se puede observar que en la parte superior hay un listado de las capas/bandas disponibles para el cálculo y por debajo se escribe la formula, cuando la misma está de color verde quiere decir que la sintaxis es correcta.

El cálculo del Índice de Vegetación Estandarizado (NDVI) permite conocer las condiciones generales de la vegetación que se encuentra en el área de estudio. Como se mencionó previamente, para su cálculo, son necesarias las bandas 4 y 3 del Landsat 5 TM en reflectancia corregida atmosféricamente. Los valores obtenidos variaran entre -1 y 1, siendo los menores valores aquellos que presenten menor vegetación y el caso opuesto para los valores más altos.

Figura 2. Módulo BandCalc del SCP - QGIS



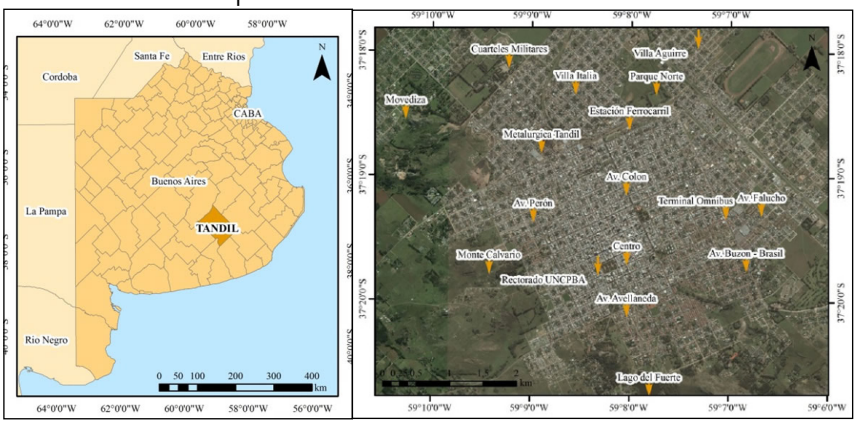
Fuente: imagen del SCP – QGIS

Resultados

La ciudad de Tandil se ubica en el centro sur de la provincia de Buenos Aires (Mapa 1). El área urbana esta emplazada sobre los cauces medios de los arroyos Blanco y del Fuerte que discurren entubados de sur a norte y por las sierras graníticas del sistema de Tandilia que rodean el ejido urbano de oeste a sur

Tandil cuenta con 116.916 habitantes concentrando el 94% de la población total del partido. Este aglomerado se ha convertido en un centro regional económico, social y cultural muy importante para los partidos aledaños (Lan et al., 2010).

Mapa 1. Localización del área de estudio



Fuente: elaboración personal

La evolución de la isla térmica urbana entre 1987–2011 se puede observar en el Mapa 2. Se destacan dos procesos, en primer lugar, que la amplitud térmica al interior de la ciudad se ha intensificado y por otro lado, que la distribución espacial de las temperaturas ha cambiado.

La intensificación de la amplitud térmica urbana es un fenómeno muy estudiado en las ciudades del mundo, ya que cada una de las coberturas de suelo presentes en el área urbana tiene un comportamiento térmico diferente. Los cambios en dichas coberturas y la densificación de la ciudad, aumentan las diferencias térmicas en su interior. Entre 1987 y 2011 la amplitud térmica en la ciudad de Tandil aumento 8 °C. Para 1987 la diferencia térmica era de 15,6 °C mientras que para el 2011 la misma tuvo un valor de 23,8 °C. En ambos casos las temperaturas mínimas fueron similares (19,8 °C en 1987 y de 18,8 °C en 2011), mientras que la temperatura máxima fue la que aumentó en el periodo estudiado (35,5 °C en 1987 a 42,8 °C en 2011). Esto es consecuencia del aumento de superficies construidas en detrimento de las áreas verdes, con características opuestas en relación a la ganancia y pérdida de energía.

En cuanto al segundo proceso, en 1987 se puede observar que el centro urbano presentó mayores temperaturas superficiales que sus alrededores, un claro efecto de *isla de calor*. Se destaca que al noroeste del centro existe un punto caliente que coincide con el asentamiento de Metalúrgica Tandil. Por otro lado, el mapa de 2011 mostró un efecto de *isla fría* bien marcado con temperaturas bajas en el centro y puntos calientes en los alrededores.

Al analizar los mapas correspondientes al Índice de Vegetación Estandarizado, se observó una clara modificación de la superficie verde en el área de estudio. En 1987 la ciudad presentó una menor proporción de vegetación en un área reducida del centro de la ciudad y sus alrededores, mostraron grandes áreas donde predominaban las áreas vegetadas. Incluso se pudieron distinguir en el centro de la ciudad los centros de manzana donde predominaba la vegetación. En cambio, en el mapa de 2011 se presentó una menor proporción de vegetación generalizada en la ciudad, con la desaparición casi por completo de los centros de manzana verde en el centro de la ciudad y un crecimiento muy importante de la superficie sin vegetación, especialmente al este y al norte de la ciudad.

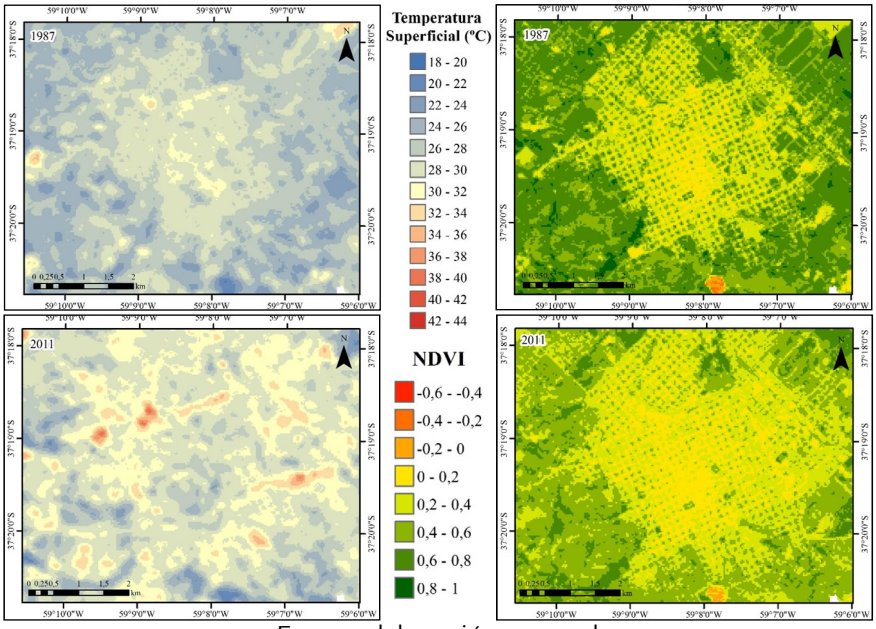
Estudiar ambos parámetros en conjunto permite analizar los cambios y sus relaciones. Las tasas de ganancia y pérdida de energía son distintas en cada cobertura, las áreas verdes son reguladores térmicos por su gran contenido de agua. Debido a esta propiedad, su temperatura presenta menores variaciones a lo largo del día, como así también durante el año. Por otro lado, los materiales que se presentan en las áreas construidas, con sus variaciones, poseen la capacidad de ganar y perder energía rápidamente, por lo cual su amplitud térmica es muy alta. Es por ello que el aumento de la amplitud térmica está asociado

a la reducción de áreas verdes cuyo comportamiento regulador permite disminuir las diferencias térmicas al interior de la ciudad. Por otro lado, el cambio de signo en la isla térmica es causado por el aumento de las superficies densamente construidas en el área central de la cuidad, cuyos comportamientos térmicos son opuestos a las áreas verdes que siguen presente en los alrededores del centro.

Según Carnahan y Larson (1990) el fenómeno de *isla fría* tiene su máxima expresión durante la mañana, ya que los materiales que dominan en las construcciones urbanas ganan temperatura durante el día y la pierden a la noche, por lo que las primeras horas de la mañana están más fríos que las áreas verdes que tiene el comportamiento opuesto por su carácter regulador. De esta manera se explican los cambios que la densificación de la ciudad ha generado sobre los comportamientos térmicos de la ciudad.

Es importante destacar que estos fenómenos son los observados durante la mañana y que pueden cambiar a lo largo del día como consecuencia de la marcha diaria de la temperatura y las capacidades térmicas de los distintos materiales presentes en el área urbana. Además, cabe resaltar que las imágenes satelitales nos proporcionan la temperatura superficial de los materiales, y no la temperatura atmosférica que los rodea, por lo que pueden existir diferencia con mediciones de estos parámetros según su fuente.

Mapa 2. Evolución de la isla térmica y el NDVI de la ciudad de Tandil (1987 – 2011)



Fuente: elaboración personal

Conclusiones y propuestas

Este trabajo presentó la evolución de la isla térmica superficial de la ciudad de Tandil (1987–2011) utilizando como base imágenes satelitales del Landsat 5 TM. El análisis demostró que la isla térmica superficial urbana aumentó su intensidad en 8 °C como producto de los cambios en los materiales que conforman la ciudad.

Por otro lado, se presentaron variaciones en la distribución espacial de las temperaturas. En 1987 se observó una *isla de calor,* mientras que en 2011 el fenómeno fue una *isla fría*. Este cambió puede ser atribuido al reemplazo en el área central de la ciudad de áreas vegetadas por construcciones densas cuyos comportamientos térmicos son opuestos.

A partir de los datos relevados en este trabajo se propone una mejora al Plan de Desarrollo Territorial de la ciudad de Tandil, tendiente a mejorar la regulación térmica del área térmica. Se deberían generar espacios verdes en todas aquellas áreas del centro donde sea posible. Básicamente se propone: solicitar a los nuevos emprendimientos inmobiliarios la inclusión en sus proyectos de techos verdes, aumentar la densidad de arbolado público y en los grandes espacios de estacionamiento, requerir pavimentos porosos y árboles.

Replicabilidad

Esta metodología puede ser replicada en cualquier ciudad del mundo ya que las imágenes Landsat están disponibles de manera gratuita y tienen una cobertura global. Además el software utilizado en este trabajo es libre y puede ser descargado de http://qgis.org/es/site/, al igual que el plugging SemiAutomatic Classification Pluggin (http://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html).

Bibliografía

Aniello, C.; Morgan, K.; Busbey, A.; Newland, L. (1995). Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and GIS. *Computers & Geosciences.* 21 (8):965-969.

Carnahan, W. H.; Larson, R. C. (1990). An Analysis of an Urban Heat Sink. *Remote Sensing of Environment*. 33:65-71.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 11(3):893-903.

Chavez, P. S. (1989). Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multiespectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.

55(9):1285-1294.

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio.* Editoral Planeta, S. A. Barcelona..

De Jong, S. M.; Van der Meer, F. D. (2005). *Remote Sensing Image Analysis: including the spatial domain*. Kluwer Academic Publishers. New York.

Gallo, K. P.; Tarpley, J. D.; McNab, A. L.; Karl, T. R. (1995). Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. *Atmospheric Research*, 37:37-43.

Jimenez Muñoz, J. C.; Sobrino, J. A. (2004). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*. 108 (D22):1-9.

Lan, D.; Linares, S.; Di Nucci, J.; López Pons, M. M. (2010). La lógica de la organización espacial de la ciudad de Tandil. *Agentes Econômicos e restauraçâo urbana regional. Tandil e Uberlândia*. Editora Expressão Popular, San Pablo, Brasil. pp. 29-155.

Matson, M.; McClain, E. P.; McGinnis, D. F.; Pritchard, J. A. (1978) Satellite detection of Urban Heat Island. *Monthly Weather Review*. 106:1725-1734.

Peña, M. (2009) Examination of the land surface temperature response for Santiago, Chile. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 75(10):1191-1200.

Pérez González, M. E.; García Rodríguez, M. P. (2002). Cartografia térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ERM del Landsat 7. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Volumen extraordinário. pp. 377-386.

Pérez González, M. E.; García Rodriguez M. P.; Guerra Zaballos, A. (2003). Análisis del clima urbano a partir de imágenes satélite en el centro de la peninsular española. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 23:187-206.

Voogt, J. A.; Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment,* 86:370-384.

Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS integration.Theories, Methods and Applications.* McGraw-Hills. New York.