

Tesis doctoral

Metodología basada en teledetección, SIG y geoestadística para cartografía y análisis de cambios en las cubiertas del suelo de la provincia de Granada

Autor: V. F. Rodríguez Galiano (vrgaliano@ugr.es)

Directores: Mario Chica Olmo y Juan Pedro Rigol Sánchez

Lugar: Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada

Fecha: Septiembre de 2011

Calificación: Sobresaliente *Cum Laude*

En esta tesis se ha elaborado una metodología integrada para la cartografía y análisis de cambios de las cubiertas del suelo de áreas complejas y heterogéneas, a partir de datos multispectrales de Landsat-5 TM y de nuevas variables auxiliares. El área de estudio seleccionada para esta investigación es la provincia de Granada, aunque las metodologías propuestas tienen carácter general y pueden ser aplicadas a otras áreas de características similares.

La cartografía de las cubiertas del suelo de la Provincia de Granada es compleja, ya que está compuesta por cubiertas del suelo que son difíciles de diferenciar, debido a una separabilidad inter-clase baja y una alta variabilidad intra-clase. Ello es consecuencia de cambios abruptos en gradientes medioambientales como la humedad, la elevación o la temperatura y por alteraciones originadas por procesos ambientales o antrópicos. Las cubiertas mediterráneas tienen, en general, un comportamiento espectral parecido, a lo que hay que sumar una estructura espacial del paisaje compleja, que presenta una gran variabilidad de patrones espaciales, altamente fragmentados. La escasez de recursos hídricos hace abundante la presencia de suelos desnudos, normalmente cálidos de tonos muy claros, con una alta reflectividad que puede enmascarar la componente reflejada por la vegetación y hacerla imperceptible e indiferenciable de otras cubier-

tas de alta reflectividad como las áreas urbanas. Por tanto, la exactitud cartográfica con la que las áreas urbanas, suelos y cubiertas de vegetación no densa (ej. olivares), pueden ser espectralmente separadas es baja.

Para incrementar la separabilidad entre clases espectralmente similares se podrían adoptar diferentes aproximaciones. Por un lado, es posible añadir información sobre el estado fenológico de las cubiertas vegetales, por medio de la incorporación de imágenes multi-estacionales. También se pueden incluir variables auxiliares que describan gradientes ambientales que mejoren la caracterización de las cubiertas: temperatura, modelos digitales del terreno, humedad... La caracterización de la variabilidad espacial en estas imágenes, a través de medidas texturales, proporciona información importante sobre la disposición de los objetos y sus relaciones espaciales dentro de la imagen. En definitiva, para la clasificación de las cubiertas y usos del suelo, además de las variables espectrales, se pueden utilizar un gran número de variables auxiliares. Además de la elección de los datos, es fundamental para la cartografía de áreas complejas la utilización de una metodología de clasificación adecuada. La cartografía de este tipo de áreas requiere de metodologías que sean exactas y a su vez operativas, interpretables, transparentes y con alto grado de automatización.

En este contexto teórico-aplicado se enmarca esta tesis, cuyo objetivo final es avanzar en el desarrollo de una metodología precisa y operativa para la cartografía de las cubiertas de la provincia de Granada, mediante la aplicación de técnicas de Teledetección, Inteligencia Artificial y Geoestadística. Para ello, se definieron a su vez una serie de objetivos parciales, entre los que destaca la evaluación de diferentes algoritmos de clasificación basados en aprendizaje de máquinas, la incorporación de nuevas variables ambientales auxiliares en la clasificación y la integración de la variabilidad espacial de las imágenes de satélite en dicho proceso.

Las metodologías de Inteligencia Artificial (aprendizaje de máquinas) evaluadas fueron: clasificadores basados en árboles de decisión simples o en conjuntos de árboles de clasificación como Random Forest, Redes Neuronales Artificiales y Máquinas de Vectores soporte (Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2012). Los resultados de este estudio muestran que los algoritmos de aprendizaje de máquinas presentan diferentes niveles de complejidad. El entrenamiento de los algoritmos basados en árboles de clasificación es sencillo, mientras que las redes neuronales y las máquinas de vectores soporte son más complejas y sensibles a pequeñas variaciones en su parametrización, lo cual se tradujo en un mayor coste computacional. Desde el punto de vista de la exactitud de la cartografía generada mediante la aplicación de estas metodologías, Random Forest y las máquinas de vectores soporte de kernel radial, dieron lugar a la cartografía más exacta. Estos dos últimos clasificadores fueron también menos sensibles al ruido y a la reducción de los datos de entrenamiento, por lo que pueden ser usados en casos en los que la calidad de los datos de calibración sea deficiente o dudosa (Rodríguez-Galiano *et al.*, 2012c).

De forma complementaria a la elección de una metodología de clasificación óptima, la consideración de variables auxiliares en el proceso de clasificación incrementó la capacidad de los clasificadores para la discriminación de las cubiertas del suelo. Así, la adición, a las imágenes Landsat de verano, de variables espectrales de primavera a mejoró considerablemente la caracterización de las cubiertas vegetales. También, mejoró la diferenciación

entre las áreas urbanas y los suelos, puesto que pese a que ambos tienen valores de reflectividad similares en verano, en primavera los suelos presentan coberturas de vegetación que los hacen diferentes espectralmente. Del mismo modo, fue utilizada la dependencia existente entre las cubiertas del suelo y las características del terreno. En particular, la utilización conjunta de imágenes de teledetección y de modelos digitales del terreno ha supuesto uno de los aspectos más relevantes de esta investigación. Sin embargo, la disponibilidad de modelos digitales del terreno en determinadas áreas es limitada, por lo que puede ser necesaria la inclusión de otras variables relacionadas con gradientes medioambientales, como la temperatura, que condicionen la distribución de las categorías del suelo.

Algunos sensores de teledetección, como el TM o el ETM+ de Landsat, incluyen canales en el infrarrojo térmico, a partir de los cuales es posible obtener medidas de la temperatura de la superficie terrestre. La información térmica de estos sensores ha sido menos usada en cartografía, ya que su resolución espacial es más grosera que la del resto de canales. Sin embargo, es posible realzar su resolución espacial mediante la aplicación de métodos de fusión de imagen. En este sentido, se han evaluado metodologías de bases conceptuales diferentes: métodos *wavelet*, un método Bayesiano, y otro geoestadístico basado en cokriging (Pardo-Iguzquiza *et al.*, 2011; Rodríguez-Galiano *et al.*, 2012d). La aplicación del método geoestadístico y el Bayesiano dio lugar a imágenes de mayor resolución espacial con mayor calidad. En concreto, el método geoestadístico consiguió las imágenes más coherentes, es decir si estas imágenes son remuestreadas a su resolución original se obtienen imágenes idénticas a las de partida (Rodríguez-Galiano *et al.*, 2011).

Como solución alternativa a la utilización de gradientes medioambientales como datos de entrada de los modelos de clasificación, se han estudiado diferentes medidas texturales aplicadas a las bandas de las imágenes de satélite. Para ello se han aplicado diversas funciones basadas en las matrices de co-ocurrencia (GLCM) y otras de naturaleza geoestadística, basadas en el variograma. La inclusión de las variables geoestadísticas en los modelos de cla-

sificación incrementó significativamente la exactitud de los modelos entrenados únicamente a partir de datos espectrales (Rodríguez-Galiano et al., 2012a).

En resumen, en este trabajo se han mostrado diferentes aproximaciones posibles para la generación de nueva información susceptible de ser incluida en modelos de clasificación de las cubiertas del suelo para mejorar su exactitud cartográfica. Estas nuevas variables contemplan desde la inclusión de variables auxiliares independientes a la teledetección, como los modelos digitales del terreno, a otras variables obtenidas a partir de las imágenes de teledetección (temperatura de superficie y variables texturales), y que por tanto pueden ser aplicadas en la clasificación de cualquier zona para la que haya disponibilidad de imágenes de satélite. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que es posible obtener el mismo nivel de exactitud cartográfica a partir del uso combinado de imágenes de satélite con modelos digitales del terreno o con medidas texturales. Sin embargo, la inclusión de la temperatura de superficie tuvo un efecto más moderado, y solo mejoró la cartografía de algunas cubiertas del suelo (Rodríguez-Galiano et al., 2012b). Por tanto, la elección de las variables auxiliares dependerá de la disponibilidad de la información, en el caso de los modelos digitales del terreno, y las necesidades de la aplicación.

Por último, las variables generadas en este trabajo, se integraron en el proceso de obtención de la cartografía de las cubiertas del suelo de la provincia de Granada en 1998 y 2004. Se ha desarrollado una metodología de análisis de cambios post-clasificación, que ha permitido identificar, localizar y cuantificar los diferentes patrones de cambio existentes en las cubiertas del suelo del área de estudio con una exactitud global del 86%. El nivel de exactitud alcanzado fue muy satisfactorio, dado el alto número de categorías contempladas y la complejidad del área de estudio. La extensión ocupada por quercíneas, áreas urbanas, pastizales, invernaderos y matorral se incrementó un 76%, 32%, 30%, 19% y 13%, mientras que chopos, cultivos tropicales, cultivos herbáceos en secano, olivares, suelos desnudos y coníferas decrecieron un 24%, 23%, 16%, 11%, 8% y 6%,

respecto a su superficie original. Los resultados de este estudio demuestran el potencial del uso integrado de los datos de teledetección y de las técnicas basadas en SIG, inteligencia artificial y geoestadística, para cartografiar de forma económica y operativa las transiciones producidas en el tiempo entre las cubiertas del suelo.

Referencias

- PARDO-IGUZQUIZA, E., RODRÍGUEZ-GALIANO, V. F., CHICA-OLMO, M., & ATKINSON, P. M. 2011. Image fusion by spatially adaptive filtering using downscaling cokriging. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 66 (3): 337-346.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V., PARDO-IGUZQUIZA, E., SANCHEZ-CASTILLO, M., CHICA-OLMO, M., & CHICA-RIVAS, M. 2011. Downscaling Landsat 7 ETM+ thermal imagery using land surface temperature and NDVI images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 18: 515-527.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V. F., CHICA-OLMO, M., ABARCA-HERNÁNDEZ, F., ATKINSON, P. M., & JEGANATHAN, C. 2012a. Random Forest classification of Mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 121: 93-107.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V. F., & CHICA-RIVAS, M. 2012. Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models. *International Journal of Digital Earth* (en prensa).
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V. F., GHIMIRE, B., PARDO-IGUZQUIZA, E., CHICA-OLMO, M., & CONGALTON, R. G. 2012b. Incorporating the downscaled Landsat TM thermal band in land-cover classification using random forest. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 78 (2): 129-137.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V. F., GHIMIRE, B., ROGAN, J., CHICA-OLMO, M., & RIGOL-SÁNCHEZ, J. P. 2012c. An assessment of the effectiveness of a Random Forest Classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. 67: 93-104.
- RODRÍGUEZ-GALIANO, V.F., PARDO-IGUZQUIZA, E., CHICA-OLMO, M., MATEOS, J., RIGOL-SÁNCHEZ, J.P., & VEGA, M., 2012d. A comparative assessment of six different techniques for image fusion. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33 (20): 6574-6599.