

“APLICACIÓN DE REDES NEURONALES Y COMPONENTES PRINCIPALES PARA EL ESTUDIO DEL CRECIMIENTO URBANO”.

Dr. Víctor Herrera González
e-mail: vherrera@lauca.usach.cl
Universidad de Santiago de Chile – Proyecto DICYT
Casilla 10233 - Correo Central Santiago, Chile; Fax: (562) 681-1213

RESUMEN

El propósito de este proyecto es mostrar la potencialidad de las imágenes satelitales en estudios de crecimiento urbano. Los procedimientos involucrados consisten en hacer clasificaciones del uso de suelo determinadas a partir de la información de cada banda en la imagen aplicando tratamiento digital de imágenes, especialmente, el uso de redes neuronales y análisis de componentes principales. El uso de estas imágenes tendrá por objetivo la detección y actualización de cambios en el uso de suelo urbano para conseguir un mejor planeamiento y uso de este escaso recurso.

ABSTRACT

The purpose of this project is to show the satellite potential images in urban growth studies. The procedures involved making consistent in landuse classifications determined by each image data band applying digital processing, specially, neural network and principal component analysis. The aim to use this images will be to detect changes in landuse and actualize it to achieve a better planning and use of this limited resource.

Palabras clave: Redes neuronales, crecimiento urbano, teledetección, tratamiento digital, análisis de componentes principales.

I. INTRODUCCIÓN.

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico de un país implican una mayor demanda de recursos naturales y una mayor necesidad de espacio para el uso de distintas actividades inherentes a la existencia del ser humano. Uno de los signos más evidentes de este fenómeno es el crecimiento de las ciudades. La información derivada del uso de diversos sensores remotos, producto del avance tecnológico en materia satelital, ha demostrado ser una herramienta fundamental y eficaz en la detección de fenómenos y cambios producidos por la dinámica del medio urbano, lo cual facilita la labor de los planificadores, permitiendo establecer mejores planes para la regulación del uso y ocupación de suelo.

En este contexto, el objetivo de este trabajo se centra en el uso de diversos algoritmos de clasificación digital que permitan estudiar el cambio de uso de suelo, preferentemente, de rural a urbano. Comenzaremos por aplicar los métodos tradicionales de clasificación supervisada y no supervisada, para luego compararlos con los algoritmos de redes neuronales (RN) y análisis de componentes principales (ACP). Esos algoritmos tendrán por finalidad principal, la representación del casco urbano y su evolución en lo que ha sido el cambio de uso y ocupación de suelo, las ventajas y desventajas que ofrece cada método y evaluar la importancia de utilizar la teledetección en este tipo de estudios.

Para este caso tomaremos como ejemplo la ciudad de Valdivia, situada en el Sur de Chile, aproximadamente en las coordenadas Lat 39° 49' S y Long 73° 14' W, ciudad que sufrió en Mayo de 1960 uno de los sismos más grandes que se recuerdan en el mundo, quedando completamente destruida tras el maremoto que siguió al sismo. Este trabajo sirvió como tesis de titulación en lo que fuera el seguimiento de la reconstrucción de la ciudad mediante el uso de diversos sensores remotos, quedando pendiente el uso de los algoritmos más recientes para una evaluación más detallada de lo que fuera el crecimiento urbano de Valdivia; ello, tendiente a la creación de una cartografía temática que permita registrar, evaluar y cuantificar los cambios en el uso y ocupación del suelo periurbano, así como la tendencia expansiva de la ciudad.

II. TRATAMIENTO DIGITAL APLICADO A LA PLANIFICACIÓN URBANA.

Tal como mencionáramos anteriormente, entre los procesos de tratamiento digital de interés, la clasificación destaca, principalmente, por la confección de cartografía temática. Sin embargo, debemos tener presente que toda clasificación es un proceso que sucumbe ante la dinámica del medio a representar (Herrera, 1995); por lo que, recurrir a procesos que permitan una visión multitemporal actualizada del tema en estudio será siempre un objetivo prioritario para este tipo de tecnología.

Existen numerosos y recientes estudios que abordan el tema de la clasificación urbana, utilizando para ello distintos tipos de algoritmos matemáticos y diferentes sensores (Wald y Baleynaud, 1999; Li et al, 1998; Couloigner et al, 1998; Liao y Chen, 1998; Yunhan et al., 1997; ; Lo, 1997; Ceballos y Bottino, 1997; De Cassia et al., 1996). Todos estos trabajos señalan la tendencia seguida en el uso de imágenes de satélite para estudios urbanos. En ellos predomina el uso de imágenes LANDSAT-TM o SPOT-HRV, los que utilizan la mayoría de sus bandas para clasificación supervisada o de análisis de componentes principales. Los resultados tienen en común la creación de cartografía urbana, con una leyenda que recoge el suelo agrícola, forestal, espacios verdes, suelo urbano, red de caminos y agua. La finalidad es la detección de cambios para estudios de crecimiento de la ciudad y/o planificación más eficiente del territorio, ya sea a través de planes reguladores o mediante análisis de carácter multitemporal. Las escalas varían entre 1:5.000 y 1:25.000.

Una alternativa siempre recomendada para el proceso de clasificaciones, ya sea de tipo visual o digital, es la aplicación de realces y filtros que pueden producir una mejora interpretativa en la imagen. (Chuvieco, 1996). Estas operaciones preliminares que se aplican a las distintas imágenes en formato digital facilitan, en estudios multitemporales, la posterior detección de cambios (Howarth y Wickware, 1981). Por esto mismo, algunas de las técnicas propuestas por algunos investigadores consiste en realzar linealmente la imagen para, posteriormente, reconocer la tendencia de crecimiento de la ciudad a través de la red de caminos en áreas periurbanas (Karathanassi et al., 1999). En este caso, la extracción de elementos lineales y geométricos (caminos y carreteras) desde imágenes provenientes de sensores remotos es un proceso complejo; sin embargo, el método reconoce la red de caminos a partir

de la variación en los niveles digitales de los distintos tramos que conforman un mismo camino, de esta forma aquellos que mostraban una mayor presencia, mejorada por el realce lineal, correspondían a carreteras que proporcionaban un acceso más directo a la actividad urbana y, por lo tanto, presentaban mejores posibilidades para la expansión de la ciudad.

III. APLICACIÓN DE RN Y ACP PARA CLASIFICACIÓN DIGITAL URBANA.

Tal como citáramos anteriormente nuestro modelo será la ciudad de Valdivia. El primer paso consiste en la adecuada definición de las bandas espectrales que permitan observar de la mejor forma posible el fenómeno a estudiar. En este sentido, se ratifica el uso del falso color convencional como herramienta tradicional para trabajos urbanos mediante teledetección. Para estos fines se utilizaron las bandas 2, 3 y 4 del sensor TM de LANDSAT. Estas bandas permitieron realizar una buena definición de los campos de entrenamiento con un coeficiente de separabilidad promedio entre clases de 1,98, las que sirvieron de base, tanto para la clasificación supervisada

como para la red neuronal. Prueba de ello es la similitud que presentan ambas imágenes (figuras 1.b y 1.c), las que presentan dos diferencias fundamentales respecto a la imagen con clasificación no supervisada (figura 1.a): el cálculo de la clase expansión urbana (tono violeta) y la consideración de las zonas inundables, ambas de gran importancia en la zona de estudio, ya que por un lado ofrece las posibilidades para el crecimiento de la ciudad y, por otro lado, muestra la principal limitante para dicho crecimiento (Herrera, 2001). No obstante, presentan el problema de exceso de presencia urbana en lo que fue un primer acercamiento.

Si bien es cierto, la clasificación no supervisada pierde información de gran importancia como la señalada en el párrafo anterior, no es menos cierto que entrega información con un mayor grado de homogeneidad, en el caso que se requiera destacar la ocupación netamente urbana, pues el casco urbano, la expansión urbana y la actual superficie agrícola, matorral y arbustiva, aparecen muy bien delimitadas; el problema lo presentan ciertas zonas que aparecen como escurrimiento superficial y que corresponden a suelos húmedos o inundados.

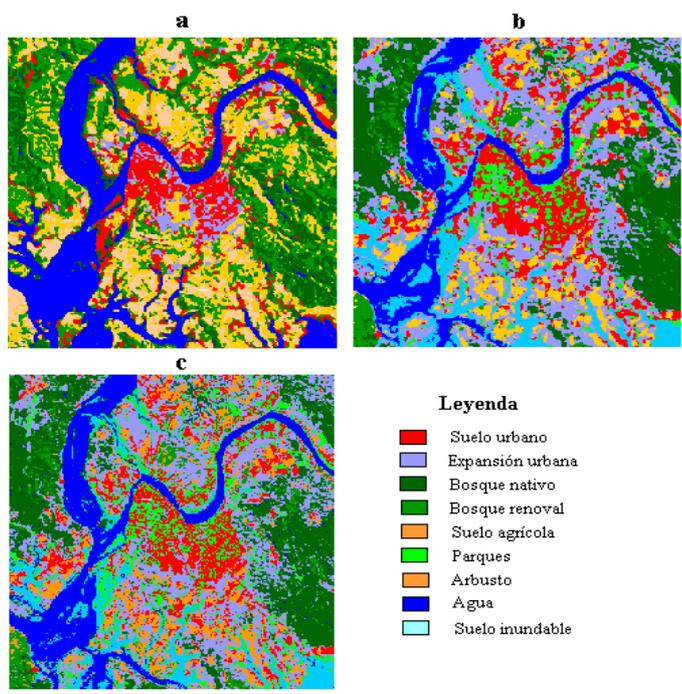


Figura 1.- Resumen del tratamiento digital realizado a la imagen LANDSAT-TM de 1986: (a) clasificación no supervisada con filtro modal; (b) clasificación supervisada con filtro modal; (c) clasificación mediante redes neuronales.

Otro aspecto relevante, es la presencia del bosque en las tres imágenes, mientras que en las clasificaciones no supervisada y por redes neuronales la vegetación vigorosa como el bosque renoval aparece bastante consistente, notamos que la misma clase ve algo más disminuida su presencia en la clasificación supervisada.

Por último, la clasificación mediante redes neuronales y su algoritmo de retropropagación (*backpropagation*) presenta gran similitud con la clasificación supervisada efectuada por el algoritmo de máxima probabilidad (*Maximum Likelihood*), claro está que ambos toman como base los mismos campos de entrenamiento, como se mencionara en párrafos anteriores; sin embargo, existen diferencias en las zonas Noreste de la ciudad y en el extremo Sur de Valdivia, en las zonas de inundación. Esto debido a que el principio matemático o algoritmo aplicado en ambos casos para la formación de *clusters* de información o clases es diferente.

El ejemplo de innovación en la clasificación digital mediante la aplicación de redes neuronales, ha sido aplicado con bastante éxito en nuestro país y, específicamente, para estudios de cambios de ocupación del suelo urbano de carácter multitemporal, como el presentado por la ciudad de Valdivia. Los resultados reflejaron que las clasificaciones realizadas estaban, principalmente, en función de la arquitectura o estructura que definía a la red neuronal, ejemplo de esto lo apreciamos en la figura 2, correspondiendo a una clasificación efectuada con 500 iteraciones y 9 capas ocultas, en donde los resultados se acercan bastante a la realidad. Se ha utilizado otra paleta de colores para facilitar la comparación entre clases similares, aunque el modelo final mantiene la norma. En todo caso, dichos resultados significaron un avance en la puesta en práctica de nuevos sistemas para estudios urbanos.

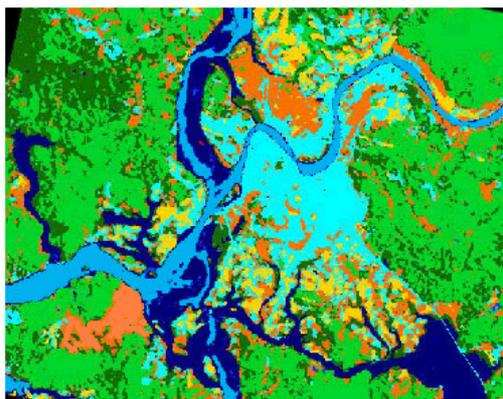


Figura 2.- Clasificación mediante RN considerando 500 iteraciones y 9 capas ocultas.

Esta última clasificación entrega una visión más ordenada de los elementos presentes en la zona, evidenciando una notoria incidencia del medio fluvial en la expansión de la ciudad, así como una mayor presencia urbana en los que fueron tradicionales sectores agrícolas asentados en los sectores Norte y Sureste de Valdivia.

Pero los algoritmos vistos no son los únicos posibles de aplicar. De acuerdo al caso aplicado tenemos que el objeto principal de una clasificación es la agrupación o formación de *cluster* que definen las clases o categorías presentes en una imagen (Lillesand y Kiefer, 1994). En este sentido, el objetivo del análisis de componentes principales o ACP es resumir un amplio grupo de variables en un conjunto más pequeño, sin perder una parte significativa de la información original. Esta capacidad de síntesis ha sido la base de la aplicación del ACP en teledetección.

La adquisición de imágenes sobre bandas adyacentes del espectro, implica con frecuencia detectar una

información redundante, puesto que los tipos de cubierta tienden a presentar un comportamiento similar en regiones próximas del espectro. Por ello, las medidas realizadas en una banda pueden presentar una importante correlación con las deducidas de otra, haciendo una o varias de ellas prácticamente irrelevantes. En este contexto, el ACP permite sintetizar las bandas originales, creando nuevas bandas (los componentes principales de la imagen), que recojan la mayor parte de la información original. A su vez, las nuevas variables, los componentes o factores principales, podrían derivarse a partir de las variables originales, estudiando sus relaciones comunes tal y como se miden en la matriz de varianza-covarianza. Los componentes principales vendrían, por tanto, a ser como variables-resumen de las medidas iniciales, preservando así lo más sustancioso de la información original (Chuvieco, 1996). Esta síntesis resulta muy conveniente cuando se pretende abordar un análisis multitemporal, o cuando se intenta seleccionar las tres bandas más adecuadas para una composición en color.

Tabla A: Matriz de Auto - Vectores de la imagen de Valdivia.

	B1	B2	B3	B4	B5	B7
CP1	0.40549	0.18635	0.21364	0.60383	0.5857	0.21901
CP2	-0.10093	-0.11276	-0.26671	0.76541	-0.4672	-0.31911
CP3	-0.79609	-0.25384	-0.16218	0.15199	0.48481	0.1318
CP4	-0.33856	0.20343	0.6536	0.16018	-0.40951	0.4727

La tabla A muestra los componentes principales obtenidos del proceso; el sentido espectral de estos componentes, se obtuvo a partir de la matriz de autovectores, en donde se evidencia la asociación entre cada componente y las bandas originales. El primer componente resultó ser un promedio ponderado de todas las bandas, recoge una valoración de las características espectrales comunes a todas ellas, correspondiendo a suelo sin cubierta vegetal con cierto grado de humedad. El segundo componente presenta una importante respuesta en la banda 4, si se la compara con las demás, definiendo la presencia de vegetación característica de la zona de estudio. El tercer componente muestra un contraste entre las bandas pertenecientes a lo rangos visible e infrarrojo, siendo negativas para el primero y positivas para el segundo, estableciendo claras diferencias entre suelos inundados, bosque y suelo urbano, debido a la presencia de agua. El cuarto componente presenta su mayor valor en la banda 3 y valores mínimos en las bandas 1 y 5, lo que hace referencia a un tipo de vegetación urbana.

Estos cuatro componentes principales retienen un 99,82% de la información original de varianza de la imagen tratada. De acuerdo a estos porcentajes se seleccionaron los tres primeros componentes en una composición RGB, los

cuales pueden ser visualizados en la figura 3. En esta figura podemos observar claramente en tono rojo el límite y trama urbana, destacan los principales accesos, la ocupación Oeste en la isla Teja y la tendencia a expandirse hacia el sector Sur. También destacan claramente el agua, bosque y suelo agrícola, demostrando este algoritmo su capacidad de poder aislar los sectores que presentan alguna limitante para la expansión de la ciudad (suelos inundables, bosque nativo).

Como se ha podido apreciar, la finalidad de aplicar estas herramientas apunta a la confección de cartografía a partir de imágenes de satélite lo cual permite simplificar la información temática inherente a la zona de estudio, y evaluar de manera confiable la capacidad de acogida de la misma, según los usos y ocupaciones que se le quieran proyectar (figura 4). Este mismo principio resulta conveniente aplicarlo al momento de analizar los riesgos o zonas de mayor vulnerabilidad producto del crecimiento que ofrece la ciudad, en este tipo de cartografía destacan las zonas expuestas a deslizamientos, inundaciones, derrumbes u otros eventos físico-naturales; así como, los terrenos que ofrecen alguna posibilidad de reutilización, como son los terrenos eriazos o zonas de renovación urbana.



Figura 3.- Composición en color para los tres primeros componentes del ACP obtenidos de la imagen LANDSAT-TM de Valdivia.
Fuente: “Estudio del Crecimiento Urbano a Través del Uso Integrado.....” Proyecto DICYT-USACH (Autor).

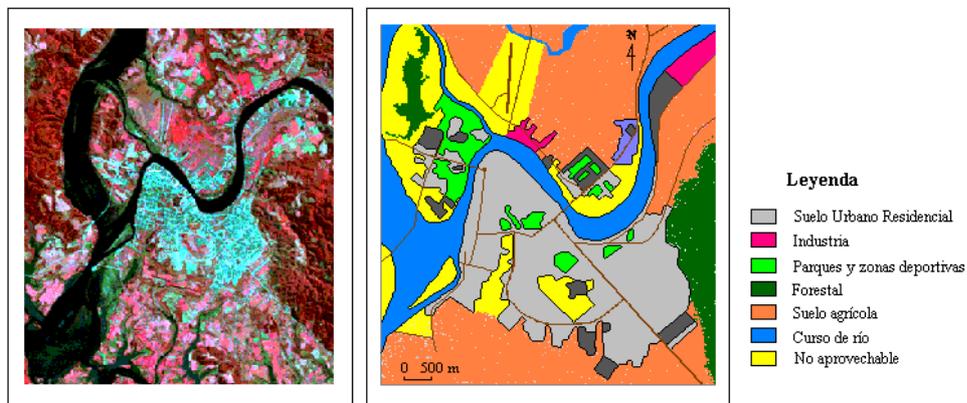


Figura 4.- Clasificación y análisis visual preliminar sobre una imagen LANDSAT-TM de la ciudad de Valdivia, uso del SIG Idrisi.

En definitiva, la perspectiva presentada en este trabajo muestra la utilidad de las imágenes para estudios del medio urbano a escala de detalle y mesoescalas. Estas imágenes mejoran notablemente sus aplicaciones al combinarse con otras tecnologías, como el GPS y los SIG, dando lugar a lo que se ha denominado en los últimos años como principio de “tecnologías asociadas”. El uso conjunto de todas estas herramientas posibilita un análisis espacial del medio urbano de gran relevancia para las actividades de gestión y planificación urbanística.

IV. CONCLUSIONES.

Al igual que cualquier organismo, la ciudad y su trama urbana requieren de un espacio para su crecimiento, además de servicios e infraestructura inherentes a su expansión; no obstante, el impacto que provoca este crecimiento sobre el medio en que se inserta debe ser debidamente planificado. Es en este contexto donde aparece la necesidad de contar con herramientas que sean capaces de otorgar una visión instantánea de los distintos fenómenos y cambios que se suceden como parte del mismo proceso de crecimiento urbano. El uso de imágenes de satélite, sumado a la asociación de tecnologías presentadas en este artículo, ha demostrado, desde décadas pasadas, su inmensa utilidad en este tipo de estudios, tanto en los aspectos de georreferenciación de eventos, como en la clasificación del uso y ocupación del suelo e integración y creación de cartografía temática.

En estas condiciones enfocamos nuestra atención hacia el manejo de la información del uso y ocupación del suelo en formato digital, presentado por la imagen satelital,

este nos ofrece diversas ventajas comparativas al momento de evaluar su incorporación al estudio del medio urbano, destacando el uso de distintas bandas del espectro electromagnético, recomendando los investigadores el uso de las bandas rojo e infrarrojo medio para suelo urbano; el mismo formato digital facilita la aplicación de diversos algoritmos de clasificación que simplifican la identificación y el aislamiento de las clases de interés para nuestros estudios. Un buen conocimiento de la trama urbana a clasificar recomienda el uso de una clasificación de tipo supervisada, o bien, un análisis de componentes principales. Además, conforme a los procedimientos aplicados podemos agregar que en el caso de la imagen no supervisada resulta conveniente utilizar su algoritmo de clasificación cuando se requiera analizar más el crecimiento urbano respecto al entorno agrícola y forestal; en cambio, tanto para el caso de la clasificación supervisada (uso del algoritmo de máxima probabilidad) y la red neuronal con su eficiente algoritmo de retropropagación, su uso se recomienda cuando el estudio apunte más hacia el estudio de los obstáculos que presenta el entorno de la ciudad y sus posibilidades de expansión.

Desde el punto de vista urbano, la propuesta que nos hace esta tecnología nos lleva hacia la identificación global y en detalle de la trama urbana, esto último ha permitido cartografiar espacios intraurbanos vacíos para un mejor aprovechamiento del escaso espacio que propone la ciudad para la implementación de nuevos barrios y servicios; así como estudios de diagnóstico municipal, actualización de planos reguladores, definición de zonas de potencial expansión urbana (localización de polígonos industriales y zonas residenciales), delimitación de áreas verdes para ocio, parques, zonas deportivas, etc. y, últimamente, la incorporación de nuevas técnicas de

repavimentación de caminos, tanto urbanos como rurales, según los distintos índices de reflectividad que estos emiten y registra el sensor.

A lo largo del tiempo el conjunto de tecnologías citadas se ha caracterizado por un aumento de sus potencialidades, en lo que a precisión y calidad de información se refiere y, a su vez, por una disminución en los costos de adquisición y operación de dichas tecnologías. De esta forma, la tendencia en las aplicaciones para estudios del territorio ha aumentado progresivamente, específicamente, el ámbito urbano no ha sido la excepción, denotando una especial inclinación en estudios de localización de actividades y detección de cambios de uso y ocupación del suelo. Es así, que debemos tener conciencia que el suelo urbano ha pasado a ser un bien escaso y, por lo tanto, el uso óptimo de este recurso es una preocupación constante de los planificadores; por lo mismo, el contar con herramientas y tecnologías que representen y permitan aportar soluciones a dicho proceso de planificación, es una meta permanente de quienes se vinculan a tales procesos de índole urbano.

BIBLIOGRAFÍA:

- Ceballos, J.C. y Bottino, M.J. 1997. The Discrimination of Scenes By Principal Components Analysis of Multi-Spectral Imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, nº 11: 2437-2449.
- Couloigner, I.; Ranchin, T.; Valtonen, V.P.; Wald, L. 1998. Benefit of the Future SPOT-5 and of Data Fusion to Urban Roads Mapping, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, nº 8: 1519-1532.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*, 3ª edición, Rialp, Madrid.
- De Cassia, Borges, Linhares, Alves, Padilha R.; De Lourdes, Neves de Oliveira Kurfjian M. 1996. Application of Segmentation Techniques From HRV/SPOT Images For the Discrimination of Empty Urban Areas, *Investigaciones Geograficas*, Boletín Instituto de Geografía U.N.A.M., nº 5: 93-102.
- Herrera, J. L. 1995. Actualización Cartográfica a partir de Imágenes de Satélite, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- Herrera, V. 2001. *Estudio Comparativo de Distintos Sensores Remotos y Equipos GPS en el Seguimiento del Crecimiento Urbano de la Ciudad de Valdivia (1961-1998)*, Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, Madrid, España.
- Howarth, P.J. y Wickware, G.M. 1981. Procedure For Change Detection Using LANDSAT Digital Data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 2: 277-291.
- Karathanassi, V.; Iossifidis, CHR. y Rokos, D. 1999. A Thinnig-Based Method For Recognizing and Extracting Peri-Urban Road Networks From SPOT Panchromatic Images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, nº 1: 153-168.
- Li, W.; Bénié, G.B.; He, D.C.; Wang, S.; Ziou, D. y Gwyn, Q.H. 1998. Classification of SAR Images Using Morphological Texture Features, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, nº 17: 3399-3410.
- Liao, R. y Chen, X. 1998. The Evolution of Settlement Location and Distribution in Urban-Rural Integration, *Chinese Geographical Science*, Vol. 8, nº 1, pp. 67-73.
- Lillesand, T. y Kiefer, R. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*, New York, J. Wiley & Sons.
- Lo, C.P. 1997. Application of Landsat TM Data For Quality of Life Assessment in an Urban Environment, *Computers - Environment and Urban Systems*, Vol. 21, nº 3-4: 259-276.
- Wald, L. y Baleynaud, J. 1999. Observing Air Quality Over the City of Nantes By Means of LANDSAT Thermal Infrared Data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, nº 5: 947-959.
- Yunhan, D.; Forster, B. y Ticehurst, C. 1997. Street Orientation Detection and Recognition in LANDSAT-TM and SPOT-HRV Imagery, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 18, nº 8: 759-769.