

# CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS EN IMÁGENES SATELITALES MULTIESPECTRALES MEDIANTE AUTÓMATAS CELULARES CON CONCEPTOS DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

(Covers Classification in Multi Spectral Satellite Images by Means of Cellular Automata with Precision Agriculture Concepts)

Andrés Fernando Jiménez López

Escuela de Ingeniería Electrónica, Uptc-Sogamoso, Grupo de Investigación DSP,  
andresfejim.@gmail.com

(Recibido febrero 26 de 2007 y aceptado septiembre 7 de 2007)

<p><b>Resumen:</b></p> <p>Para realizar el proceso de clasificación y generación de mapas temáticos de coberturas en imágenes satelitales multiespectrales e hiperspectrales se emplean diversos procedimientos, entre los cuales se encuentran el análisis de espectros, la clasificación angular, la reducción de la dimensionalidad de la imagen y el análisis lineal de mezclas espectrales, entre otros. En el presente trabajo se emplea una imagen Satelital Landsat 7 para realizar la clasificación de coberturas mediante autómatas celulares, empleando cada pixel de la imagen como si fuera un elemento de la rejilla que constituye al autómata celular y se comparan los resultados con los obtenidos mediante el uso del Software ERDAS.</p>	<p><b>Abstract:</b></p> <p>To carry out the classification process and the generation of thematic maps of earthly cover in multispectral and hyperspectral satellital images different procedures are utilized such as: the spectral analysis, the angular classification, the image dimension reduction and the spectral mixtures linear analysis. In this paper a LandSat 7 Satellital image is employed for realizing the covers classification by means of cellular automata, using each image pixel as a grid element which composes the cellular automata and the results are compared with the obtained ones using the ERDAS Software.</p>
<p><b>Palabras clave:</b> Agricultura de precisión, Agrofísica, Teledetección, Autómata celular.</p>	<p><b>Key Words:</b> Precision Agriculture, Agrophysics, Remote Sensing, Cellular Automata.</p>

## 1. INTRODUCCIÓN

La percepción remota se ha convertido en uno de los componentes más sólidos sobre los que se sustenta la agricultura de precisión; no obstante, la determinación de la información necesaria para la agricultura desde imágenes aéreas o satelitales no siempre resulta trivial, debido a la enorme complejidad del sistema suelo-agua-planta-atmósfera. El estudio de este sistema (SAPA) es el objeto de investigación de la agrofísica, esencialmente sus intercambios de masa y energía.

El procesamiento de imágenes incluye procesos de clasificación. Para imágenes multiespectrales e hiperspectrales se emplean esencialmente el análisis de espectros, la clasificación angular, la reducción de la dimensionalidad de la imagen y el análisis lineal de mezclas espectrales, entre otros (Chuvieco, 2002). Los algoritmos más convencionales de posclasificación en procesamiento digital de imágenes son: filtro mayoritario, filtro Thomas, matrices de transición, probabilidad, relajación de nivel de probabilidad, coeficiente de compatibilidad y funciones de vecindad (Mojaradi *et al.*, 2003).

Los autómatas celulares pueden ser generalmente descritos como sistemas dinámicos discretos completamente definidos por un grupo de reglas de evolución en una vecindad local.

El estado es representado como una rejilla regular, en la cual las reglas son aplicadas para producir un nuevo estado (Mäenpää & Pietikäinen, 2002). Debido a que una imagen satelital está conformada por píxeles, y a que cada uno de estos tiene una información de nivel de color, se pretende tomar la imagen como una rejilla regular y generar reglas de evolución que permitan hacer una clasificación de coberturas de esta.

Este trabajo busca desarrollar una aplicación de los autómatas celulares en el procesamiento de imágenes satelitales, fundamentales para la determinación de coberturas terrestres, especialmente vegetativas.

## 2. FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

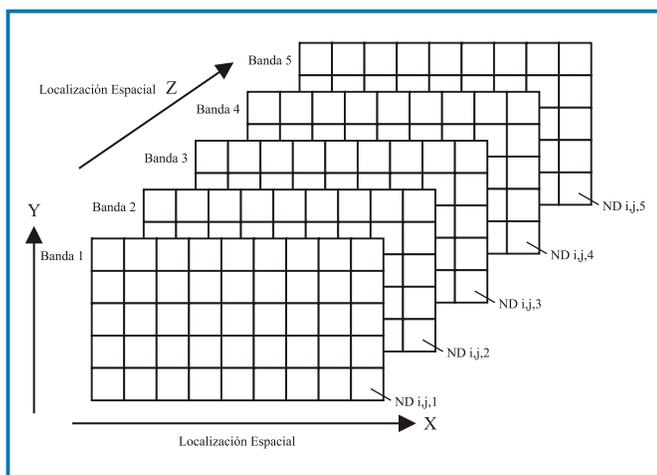
La energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerza ortogonales (eléctrico y magnético). El flujo de energía electromagnética incidente a una superficie es igual a la sumatoria del flujo de energía reflejada, más el flujo de energía absorbida, más el flujo de energía transmitida por la superficie sensada (Chuvieco, 2002).

La *percepción remota* o *teledetección* es la colección de información de un objeto sin estar en contacto físico con él.

La teledetección es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores y otros instrumentos instalados en plataformas espaciales, aviones, dirigibles y otros medios de adquisición de imágenes, gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra (reflectancia). La reflectancia de un objeto o tipo de cubierta a lo largo de todo el espectro electromagnético se denomina *firma espectral*; cada objeto sobre la superficie analizada está caracterizado por una firma concreta, que lo distingue de los demás.

El pixel es la unidad visual más pequeña que se puede representar en una imagen de satélite. El sensor detecta la radiancia media de un objeto sobre la superficie equivalente al tamaño del pixel; cada pixel tiene un valor numérico entero o real, que corresponde al nivel digital (ND) percibido, el cual se traduce en un valor de gris en la pantalla o nivel visual. El arreglo de varios pixeles genera la imagen que se puede interpretar como una matriz con coordenadas fila, columna. Cada pixel se define por un byte y estos pueden estar descritos con arreglos de 8 bits con 256 niveles digitales posibles (de 0 a 256 niveles), de 16 bits no signado con 65 536 niveles digitales posibles (de 0 a 216), de 16 bits signado (desde -216/2 a 216/2). La imagen que más discriminación nos da de niveles de grises está configurada en 32 bits real.

La organización de los datos en una imagen multispectral puede esquematizarse como lo muestra la figura 1. Se trata de una matriz numérica de tres dimensiones; las dos primeras corresponden a las coordenadas geográficas de la imagen, mientras la tercera indica su dimensión espectral.



**Figura 1.** Organización de datos de una imagen multispectral.

### 3. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN EN TELEDETECCIÓN

Al obtener la imagen de teledetección con sus respectivas bandas espectrales, como en el apartado anterior, se realizan distintas correcciones geográficas de contraste, brillo y color,

luego de las cuales se pueden emplear los métodos de estimación de variables biofísicas por medio de índices de vegetación o modelos de reflectancia.

Los índices de vegetación son combinaciones de dos o más bandas que pueden ser calculadas a partir de las salidas del sensor: voltaje, reflectancia o conteos numéricos; todos son correctos, pero cada uno producirá diferentes valores del índice de vegetación para las mismas condiciones de observación (Chuvieco, 2002). Esta facilidad de cálculo ha hecho que los índices de vegetación sean ampliamente usados en la actualidad como una herramienta no destructiva para la estimación de variables biofísicas. Los índices de vegetación son operaciones que se realizan pixel por pixel sobre toda la imagen analizada. El índice de vegetación más empleado es el NDVI: Índice Diferencial de Vegetación Normalizado.

$$NDVI = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R) \quad (1)$$

Donde  $R_{NIR}$  representa reflectancia en el infrarrojo cercano y  $R_R$  la reflectancia en el rojo.

### 4. AUTÓMATAS CELULARES

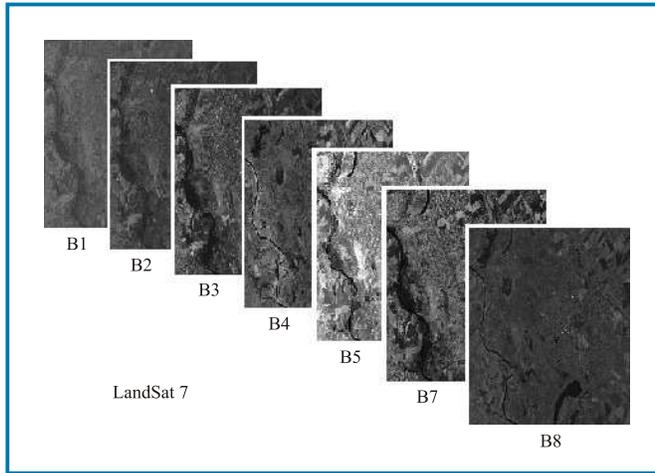
Son una herramienta de modelado basado en métodos y expresiones matemáticas. Cada autómatas produce una salida a partir de varias entradas, modificando su estado según una función de transición. El espacio y el tiempo son discretos y en cada tiempo cada celda analiza el estado de las celdas vecinas y su propio estado en función de un conjunto de reglas de evolución de estado, determinando de esta forma el cambio o no de estado de cada celda que constituye el espacio (Popovici, 2002).

Cada autómatas debe tener las siguientes características:

- Espacio: conjunto finito de subespacios (celdas).
- Cada celda de este espacio solo puede tener un estado en un tiempo  $t$ .
- Tiene configuración inicial (en cada celda).
- El estado de cada celda cambia de un instante a otro de acuerdo con una regla de evolución.
- Las reglas son máquinas de estado finito denominadas también función de transición.
- Cada celda tiene celdas adyacentes.
- Existe un reloj virtual de cómputo conectado a cada celda del autómatas (Romero, 2003).

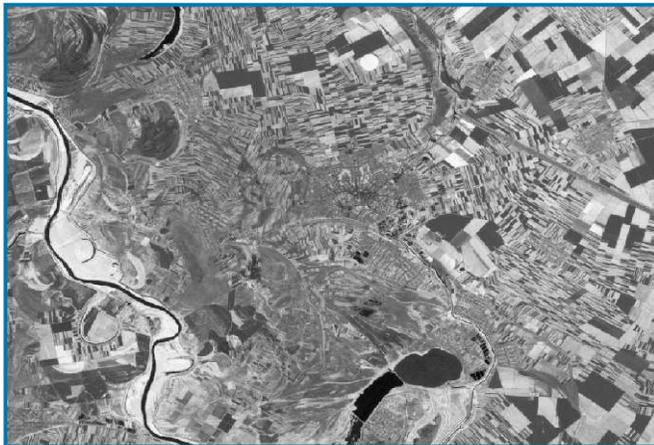
### 5. METODOLOGÍA

Para este trabajo se analizó una imagen LandSat 7 tomada entre Novi Sad y Belgrado, Serbia, en julio de 2000, que contiene siete bandas espectrales, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Imagen Satelital LandSat 7. Novi Sad y Belgrade, Serbia, julio de 2000. Empleada para estudio (Fuente: Imágenes Agencia Espacial Europea).

Cada pixel de la imagen tiene un rango. Las imágenes iniciales en bruto tienen un rango de 0 hasta 255, en escala de grises. Empleando para el análisis de cobertura vegetal el índice diferencial de vegetación normalizado, NDVI, se obtiene un rango en escala de grises en la imagen final desde -0.397681 hasta 0.740213; este resultado se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Imagen correspondiente al Índice de Vegetación empleando las bandas 3 (Rojo) y 4 (Infrarrojo Cercano).

El rango de esta imagen resultante se divide en cinco porciones, resultando:

- De -0.397681 a -0.170181
- De -0.170181 a 0.057319
- De 0.057319 a 0.284819
- De 0.284819 a 0.512319
- De 0.512319 a 0.739819

El umbral crítico para cubiertas vegetales, según la teoría, es el NDVI en torno al nivel de 0.1, y si el valor de cada pixel de NDVI es menor que este, entonces el valor de salida debe ser cero; de esta forma se rechazan algunos elementos de la imagen que adquieren el color negro.

En el estudio realizado se plantean dos reglas de evolución del autómata celular, que permiten que al aumentar el tiempo de proceso la imagen resalte los elementos relacionados con cobertura vegetal. La primera consiste en observar el estado de todos los vecinos del pixel y determinar umbrales de suma de niveles de gris, de los cuales si el promedio de nivel de gris de los ocho vecinos cercanos está dentro de algunos rangos determinados en la tabla 1, el pixel adquiere el valor descrito por la columna correspondiente a la regla de ocho. Para la regla de cinco se hace el mismo procedimiento, pero en este caso se hacen los rangos teniendo en cuenta solo a cinco vecinos.

También se aplicó un modelo de detección de bordes con un autómata bidimensional de estados correspondientes a los niveles de la imagen, emplea vecindad de Moore, y la función de transición escogida es:

$$\delta = \begin{cases} 0, & \text{si } |s - s_i| < \varepsilon \\ s, & \text{Para cualquier otro} \end{cases} \quad (2)$$

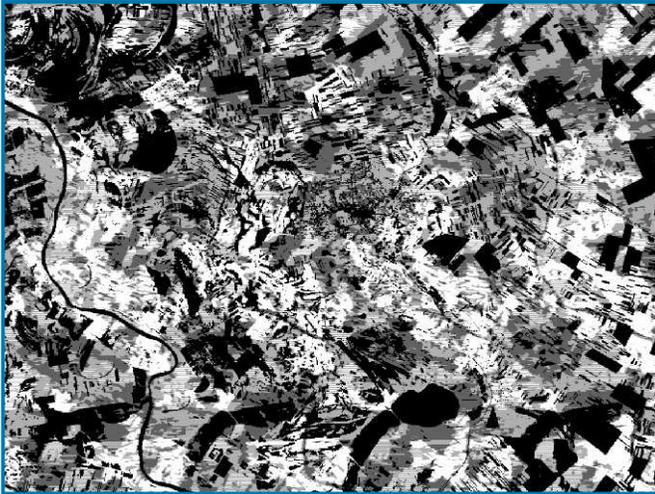
**Tabla 1.** Pesos para la regla de evolución de cinco y de ocho para el autómata celular.

Valores			
Valor Inicial	-0.397681	Regla de cinco	Regla de ocho
1	-0.170181	-0.850905	-1.361448
2	0.057319	0.286595	0.458552
3	0.284819	1.424095	2.278552
4	0.512319	2.561595	4.098552
5	0.739819	3.699095	5.918552

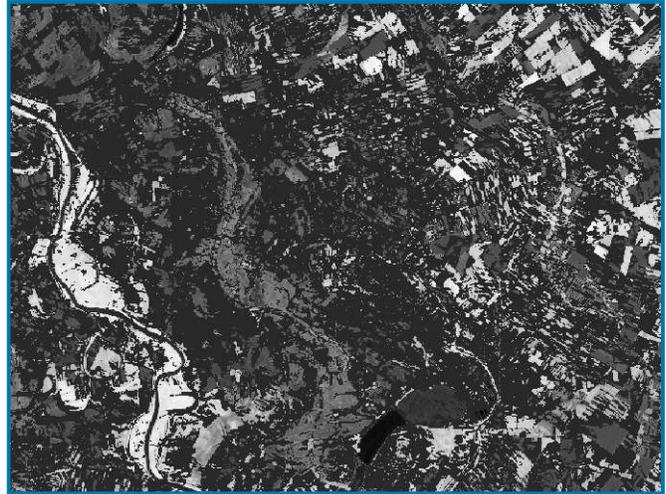
El software para realizar las diferentes operaciones fue diseñado en C++, empleando software libre (Linux) y los paquetes g++, Xmgrace y Emacs.

## 6. RESULTADOS

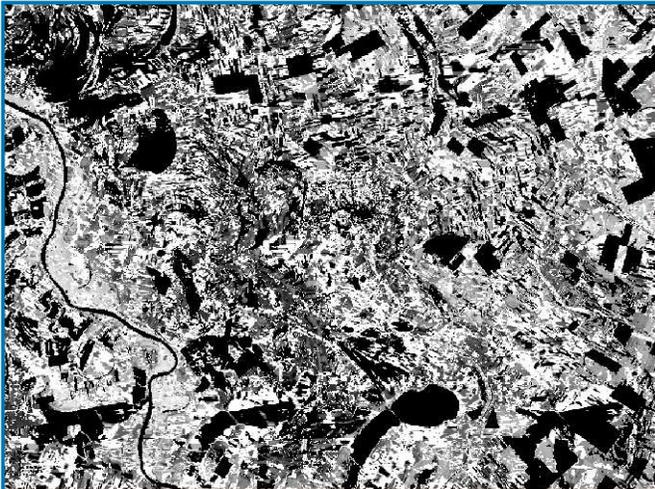
A continuación se muestran las imágenes correspondientes a los resultados obtenidos por el método de cinco, el de ocho y el de detección de bordes, para el análisis de coberturas vegetales:



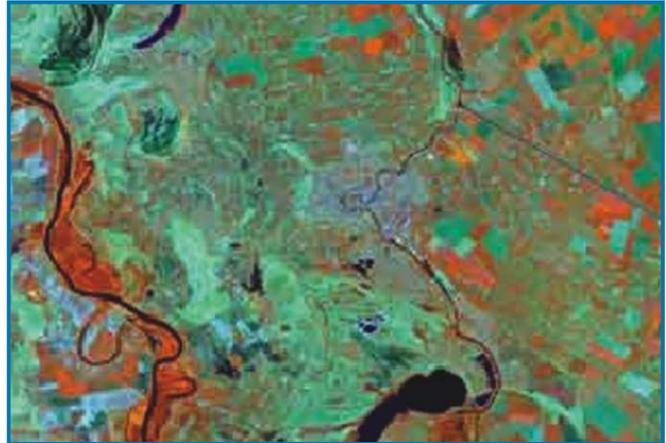
**Figura 4.** Imagen correspondiente al procesamiento de clasificación de coberturas vegetales por autómatas celulares correspondiente a la regla de OCHO.



**Figura 6.** Imagen correspondiente al procesamiento para detección de bordes.



**Figura 5.** Imagen correspondiente al procesamiento de clasificación de coberturas vegetales por autómatas celulares correspondiente a la regla de CINCO.



**Figura 7.** Imagen correspondiente al procesamiento de clasificación de coberturas vegetales empleando el software ERDAS  
(Fuente: Teoría de Harry Hess, 1998).

## 7. DISCUSIÓN

De acuerdo con las imágenes obtenidas en esta investigación se observa que de las dos reglas de evolución, la imagen que más se aproxima al resultado alcanzado mediante el software ERDAS es la regla de CINCO. La regla de OCHO, aunque muestra una idea del comportamiento espacial vegetativo, disminuye la visualización de las características del terreno. La técnica de segmentación es también una excelente aproximación a la encontrada con el software especializado.

## 8. CONCLUSIONES

Se pueden emplear las técnicas de detección de bordes y autómatas celulares para la clasificación de cobertura vegetal, obteniendo resultados aceptables comparados con imágenes analizadas por software especializado.

Aunque se obtuvieron resultados aproximados, es necesario continuar con la investigación, introduciendo análisis con escalas de color y nuevas reglas de evolución que permitan obtener resultados más exactos.

El procedimiento fue aplicado también en la detección de recursos hídricos, pero en este caso el autómata celular no llega a resultados admisibles, luego el procedimiento no es aplicable en este caso.

## 9. REFERENCIAS

- Chuvieco, E., Salas, F. J., Aguado, I., Cocero, D. y Riaño, D. (2001). Estimación del estado hídrico de la vegetación a partir de sensores de alta y baja resolución, *GeoFocus (Artículos)*, No. 1, pp. 1-16.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección Ambiental. Edit. Ariel Ciencia, pp. 155-404.
- Espericueta, R. (1997). Cellular Automata Dynamics. *Math Department Bakersfield College*.
- Mäenpää T., Pietikäinen T. (2002). Multi-Scale Binary Patterns for Texture Analysis. *Machine Vision Group*, Infotech Oulu University of Oulu, Finland.
- Mojaradi B., Lucas C., Varshosaz M. (2003). Using learning cellular automata for post classification satellite imagery. (2003). *Faculty of Geodesy and Geomatics Eng.*, KN Toosi University of Technology, Vali\_Asr Street, Mirdamad Cross. *Dept. of Electrical and Computer Science Engineering*, University of Tehran, Amirabad Cross, Tehran, Iran.
- Ormeño, S. (1993). Fundamentos de Teledetección. *EUIT, Topográfica*. (UPM). Madrid.
- Philippe, J. (2000). Introduction to Cellular Automata.
- Popovici, A. (2002). Cellular Automata in image Processing. Fifteenth International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems.
- Romero, N. (2003). Comentarios sobre la definición de Autómata Celular. *Boletín de la Asociación Matemática Venezolana*, Vol. X, No. 1.
- Schowengerdt, R.A. (1983). Techniques for image processing and classification in remote sensing. *Academic Press*, Inc. Orlando. Florida.
- Zurita, R. (2002). Determinación de variables biofísicas mediante teledetección en el marco de la agricultura de precisión. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes*. Universidad de Córdoba.