

IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES POR SU RESPUESTA ESPECTRAL*Landcover identify through their spectral response*

José L. Soler (*) y M. Teresa Sasal (**)

RESUMEN:

Descripción de una práctica para alumnos de bachillerato, que usa imágenes de teledetección para trabajar sobre:

- Radiaciones y sus propiedades. Características y comportamiento de radiaciones de diferente longitud de onda. Su aplicación en Teledetección.
- Tipos de coberturas terrestres y métodos estadísticos usados para identificarlas.
- Gráficas de curvas de respuesta espectral. Utilización de este tipo de gráficas en el reconocimiento de materiales.

ABSTRACT:

Description of a practice for upper secondary school level, that uses remote sensing images to work about:

- Study of: radiation and their characteristic; features and behaviour of different wavelenghts' radiation; their applications in remote sensing.
- Type of landcover and stadistical methods used to identify them.
- Spectral response curves drawings. Use of this graphics in landcover recognition.

Palabras clave: Teledetección; bachillerato; actividad práctica; respuesta espectral; coberturas terrestres.

Keywords: Remote sensing; secondary school; practical activity; spectral response; landcover.

INTRODUCCIÓN

Los autores, hace algunos años que desarrollan actividades en el campo de la Teledetección y su aplicación a la enseñanza secundaria (Sasal et al., 1996 y Soler et al., 1996). Esta técnica se ha revelado como una eficaz herramienta para que el alumnado de Bachillerato tome contacto directo con ciertos fenómenos naturales.

El punto de observación y la realidad de las imágenes de sensores remotos favorecen la aceptación de determinados fenómenos y estructuras geológicas por parte de los alumnos.

Objetivos

La actividad práctica propuesta tiene como objetivo que los alumnos adquieran un conjunto de conocimientos prácticos y teóricos que les permitan realizar una correcta interpretación de las imágenes captadas mediante sensores remotos.

Para ello deben aprender a reconocer un cierto tipo de material determinado en una imagen satélite, a partir de la evaluación de su respuesta frente a radiaciones del diferente longitud de onda. Es una técnica similar a una espectroscopia simplificada del terreno, hecha a distancia.

La aplicación de este conocimiento les permitirá interpretar imágenes satélite, relacionando la respuesta espectral de los diferentes puntos de la imagen con tipos de materiales.

Aunque el número de canales de los sensores actualmente en funcionamiento no es muy alto (entre 3 y 7), los nuevos sensores, en fase de pruebas, disponen de hasta 256, lo que incrementará la capacidad de discriminación y aumentará en un futuro próximo la importancia del análisis de respuestas espectrales. (Guyot 1992).

El valor de la respuesta de cada material frente a las radiaciones se distribuye de forma normal alrededor de un valor teórico. Por ello, se hace necesario conocer las bases estadísticas que se aplican en la interpretación de este tipo de imágenes.

Nivel: Bachillerato o COU.

Conocimientos previos

Aunque son aspectos que se trabajan en la unidad, es conveniente que el alumnado tenga ya un conocimiento previo sobre: Radiaciones (espectro electromagnético, longitud de onda, color y longitud de onda); su comportamiento (reflexión, transmisión, absorción y radiación); y estadística (distribución normal, media, varianza).

Se pone de manifiesto que es recomendable trabajar esta técnica de forma interdisciplinaria. La Teledetección se presta a manipular en una misma actividad conceptos procedentes de disciplinas muy distintas, que los alumnos raramente pueden integrar, trabajándolos de forma interrelacionada. Por ejemplo, comportamiento de las radiaciones, pigmentos vegetales, climas, estadística, ...

(1) Institut de Batxillerat Maragall, C/ Provenza 187, 08036 - Barcelona • e-mail: jsoler@pie.xtec.es

(2) Institut de Batxillerat Santa Eulalia, Pça. Pío XII, s/n 08103 - L'Hospitalet (Barcelona) e-mail: tsasal@pie.xtec.es

Independientemente de los conocimientos académicos, las personas más sensibilizadas o más conocedoras de un tema identificarán antes las estructuras relacionadas con él que otras; por ejemplo, un aficionado a los deportes de nieve localizará las pistas de esquí a gran velocidad, mientras que su vista resbalará sobre los campos de golf o los velódromos. En general, cuanto más extensos son los conocimientos, más cosas se ven en una imagen.

Material necesario

1 - Un conjunto de imágenes digitales multicanales, captadas por cualquier satélite o sensor aerotransportado. Puede ser interesante que además sean multitemporales, ya que permitirán comprobar si la respuesta espectral de los materiales estudiados se mantiene a lo largo del tiempo.

2 - Programas informáticos adecuados al tratamiento de imágenes de satélite.

Las opciones que necesariamente deben ofrecer son:

- Mostrar una imagen.
- Explorar una imagen con un cursor y proporcionar coordenadas y valor de un pixel determinado.
- Calcular y representar gráficamente el histograma de la imagen (frecuencia de cada uno de los valores de que está formada), así como parámetros estadísticos de los valores de los píxels (media, varianza,...).
- Obtención de subimágenes (fragmentación de la imagen original), o de áreas de entrenamiento sobre las que se puedan efectuar mediciones estadísticas independientemente del resto de la imagen.
- Creación de mapas temáticos mediante clasificación manual de las imágenes.
- Representación de curvas de respuesta espectral.
- Operaciones entre imágenes, incluyendo el cálculo de índices de vegetación.

3 - Un radiómetro de campo, que permita medir la intensidad de la radiación para diferentes longitudes de onda.

Utilización

La metodología de utilización de esta actividad es idéntica a la descrita en el artículo *Clasificación y cuantificación de materiales: Variación anual del hielo antártico*, en esta misma revista.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Radiaciones

El material específico que requiere esta parte de la actividad es un radiómetro de campo. Consta de un detector sensible a un amplio espectro de radiaciones conectado a un dial. Un conjunto de filtros permite elegir la longitud de onda analizada en las

regiones visible e infrarrojo próximo (IR-p). El radiómetro permite medir el porcentaje de radiación reflejada por un material.

Se usa para determinar el comportamiento característico de cada material frente a las radiaciones de diferentes tipos. Para las regiones visible e infrarrojo próximo, los fenómenos que se producen en la superficie terrestre son de reflexión de los materiales. Para otros tipos de radiación (térmica, microondas) es necesario disponer de unos recursos diferentes.

Etapas de trabajo:

1. En primer lugar, es necesario familiarizarse con el radiómetro, midiendo la cantidad de radiación que le llega en diferentes condiciones, (posición e intensidad de la fuente de iluminación, cambios del material observado,...).

2. Establecer una escala de reflectancias en el radiómetro. Medir la radiación recibida con el sensor tapado para establecer el 0 %. Medir la radiación reflejada por una hoja de papel blanco para establecer el 100 %.

3. Medir el porcentaje de radiación reflejada por una bandeja de arena en diferentes longitudes de onda, intercalando los filtros azul, verde, rojo e infrarrojo próximo.

4. Repetir con diferentes materiales. Anotar todos los datos obtenidos en una tabla, que se usará en las siguientes partes de la actividad.

Comportamiento de los materiales

La imagen que se use ha de presentar zonas homogéneas de varios materiales fácilmente identificables. En este caso, se ha elegido una imagen meteorológica, captada por el satélite GOES E en septiembre de 1989, que muestra grandes extensiones de mar, nubes y tierra. En ella se observa el huracán Hugo acercándose a la costa este de USA (Fig. 1).

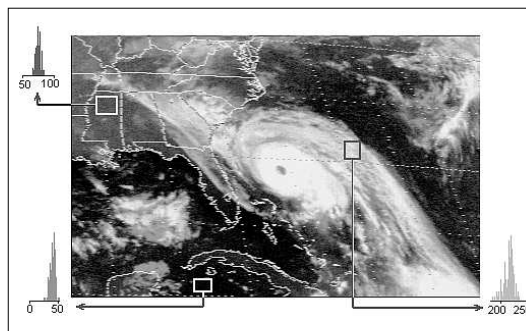


Figura 1. Imagen meteorológica que muestra un huracán aproximándose a las costas de Florida. Los recuadros indican las subimágenes usadas para la obtención de los datos estadísticos que se muestran en la Fig. 3.

Se empieza analizando una imagen, considerada como un conjunto de valores numéricos proporcionales a la cantidad de radiación procedente de un punto de la Tierra y medidos por un sensor remoto.

Los alumnos comprueban que cada material presenta diferentes respuestas frente a las radiaciones. Realizan dos tipos de análisis: primero un análisis visual, para posteriormente relacionarlo con la variación de los valores numéricos en diferentes regiones de la imagen. Finalmente, obtienen parámetros estadísticos que definen a las poblaciones existentes en la imagen (Proy, 1990).

Etapas de trabajo:

1. Situar geográficamente la imagen, identificando las regiones y estructuras que aparecen. Diferenciar tierra, mar y nubes. Desplazar el cursor sobre ella y anotar algunos de los valores característicos de cada material.

2. Analizar el histograma de la imagen. Observar que es multimodal. Correlacionar los picos que presenta con los diferentes materiales existentes mediante los valores anotados en la etapa 1. Comprobar que el valor de la media no tiene ningún significado, ya que la imagen está compuesta por una mezcla de materiales (Fig. 2).

3. Definir una subzona (área de entrenamiento o subimagen según el programa usado), de aspecto homogéneo y que corresponda a un material único. Previamente, aumentar el contraste para que sean visibles hasta las nubes más tenues, para facilitar la elección de materiales puros.

4. Obtener el histograma y datos estadísticos de la subzona (media, varianza,...). Observar el aspecto normal de la distribución. Comprobar que la media coincide con el valor más alto de la distribución. Provocar que el alumnado reflexione sobre el significado de esta distribución. Explicar que un material tiene un cierto valor teórico de reflectancia, pero que los valores que se obtienen en la práctica, se distribuyen alrededor de este valor teórico. Analizar las causas posibles, como:

- Variabilidad natural del material.
- Alteraciones sufridas durante el recorrido de las radiaciones desde el material hasta el sensor, a causa de factores atmosféricos, nubes, polvo, contaminación, aerosoles,...
- Falta de precisión de los aparatos de medida que da valores dispersos.

5. Repetir en otras zonas que presenten la misma cobertura. Obtener valores medios de media y varianza, para definir el comportamiento radiométrico del material en el canal que se está usando.

6. Repetir el proceso, creando subzonas y obteniendo sus parámetros estadísticos para cada uno de los materiales identificables en la imagen (Fig. 3).

7. Obtener un mapa temático, asignando un color a cada zona del histograma identificada como correspondiente a un material. Esto permite realizar un análisis de la bondad de los resultados obtenidos en los pasos anteriores. Este control puede ser simplemente visual para imágenes conocidas o interpretables, o mediante informaciones colaterales, como trabajo de campo, cartografía, datos geográficos, ... (Fig. 5).

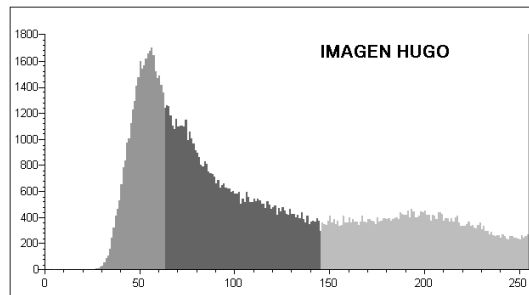


Figura 2. Histograma de la Fig. 1. Presenta tres picos que corresponden a poblaciones distintas, y se han representado colores distintos. Corresponden, de izquierda a derecha, a mar, tierra y nubes.

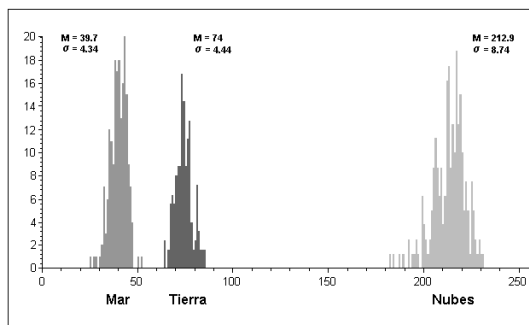


Figura 3. Tres histogramas y sus parámetros estadísticos, correspondientes a subimágenes de cada una de las tres poblaciones de la imagen.

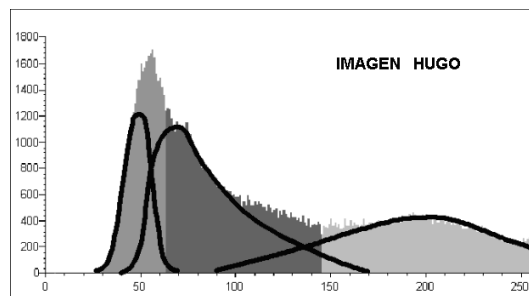


Figura 4. Histograma con posibles curvas de distribución de cada población superpuestas a él. Puede observarse que presentan zonas de solapamiento, en la que píxeles de mar son asignados a la clase de tierra y viceversa, etc.

Al haber usado un solo canal, la discriminación de los diferentes materiales presentes en la imagen siempre ofrece dificultades, ya que las diferentes poblaciones suelen presentar zonas en que se solapan sus curvas de distribución (Fig. 4 y 5). Por ello se hace necesario el uso de imágenes multicanal y del estudio de la respuesta de cada material para cada uno de los canales, objeto de la siguiente parte de la actividad.

Respuesta espectral

La imagen de trabajo para esta parte de la práctica debe ser una imagen multicanal, en la que se puedan identificar estructuras y materiales. Es conveniente que contenga píxeles de: agua, nubes, es-

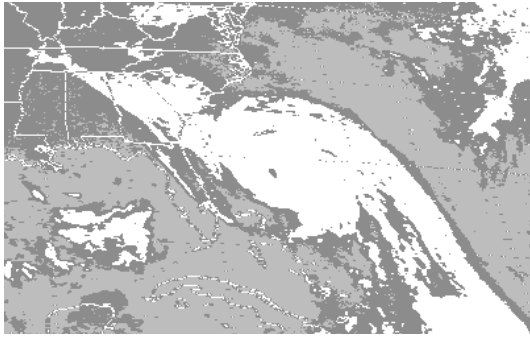


Figura 5. Imagen mostrada en la Fig.1, clasificada.

estructuras artificiales, suelo, roca desnuda, hielo o nieve y diferentes tipos de vegetación. Es fácil que una misma imagen no contenga todos estos tipos de coberturas, por lo que se hace necesaria la utilización de más de una.

En nuestro caso se ha trabajado sobre imágenes de:

- Los muelles de Southampton, captada por un sensor aerotransportado.
- Una zona árida con suelos salinos, rocas y cultivos de regadío del sudoeste de USA, Landsat (MSS).
- Una parte de la comarca pirenaica de la Cerdeña. Dos imágenes obtenidas en distintas épocas del año por el sensor Landsat (TM).

Etapas de trabajo:

1. Dibujar manualmente la gráfica de respuesta espectral de un material. Para ello poner el cursor sobre un punto de la imagen y anotar en una tabla sus coordenadas y valor, repitiendo el proceso para cada uno de los canales. El punto elegido debe corresponder a un material reconocible; es recomendable empezar por agua, ya que presenta una respuesta fácil de identificar. A partir de los datos obtenidos dibujar la gráfica de la respuesta espectral del material escogido.

Hay que tener en cuenta que la gráfica debería representar las reflectancias (porcentaje de radiación reflejada), pero para simplificar el proceso, se puede aproximar el resultado representando directamente los valores de los píxeles. El máximo de cada canal es el valor 255 (valor máximo de un píxel en las imágenes usadas habitualmente) y el mínimo el 0.

2. Repetir el proceso para otros puntos (un mínimo de tres) en que aparece el mismo tipo de material.

3. Se provoca que los alumnos analicen las gráficas resultantes, mediante una serie de preguntas que incidan especialmente sobre:

- Relación entre la forma de la gráfica y la respuesta del material que representa frente a diferentes radiaciones.
- Grado de semejanza entre todas ellas. Se observa que con pequeñas variaciones, todos los píxeles de agua presentan una misma respuesta, al tratarse de un material homogéneo. Las diferencias

entre los diferentes puntos pueden ser atribuidas a factores como: materiales en suspensión, diferencias en la composición de la atmósfera en el trayecto entre el punto observado y el sensor, ...

4. Se dibujan de la misma forma gráficas de respuesta espectral para otros materiales presentes en la imagen, comparándolas entre sí y analizando el comportamiento de los diferentes materiales.

5. Obtener las mismas gráficas, mediante un programa informático que las realice de manera automática. Compararlas con las obtenidas manualmente.

Interpretación de los datos obtenidos con el radiómetro

6. Dibujar las gráficas de respuesta espectral para cada uno de los materiales de los que se midió la reflectividad con el radiómetro. Para ello, representar el promedio de los valores obtenidos para cada longitud de onda. Calcular las varianzas y representárlas en la misma gráfica.

7. Comprobar que los gráficos resultantes concuerdan con los que aparecen en la bibliografía para dichos materiales. Comparar las gráficas obtenidas para el mismo tipo de material con el radiómetro y a partir de la imagen. Discusión de los posibles motivos de las diferencias observadas.

Respuesta espectral de algunas coberturas

Obteniendo gráficas de respuesta espectral de la manera antes indicada, se pueden identificar diferentes tipos de materiales presentes en la superficie terrestre (Fig. 6). Los más frecuentes, han sido descritos entre otros por Guyot (1992), Chuvieco (1990) y Scanvic (1989), y presentan el siguiente comportamiento:

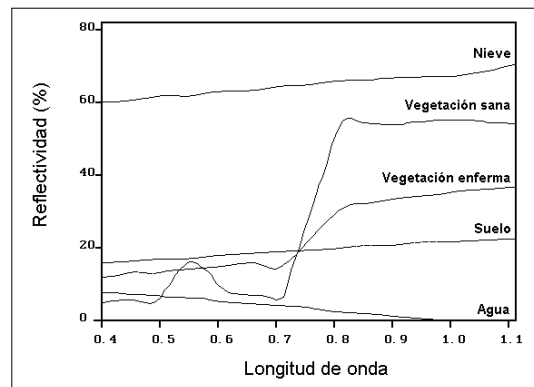


Figura 6. Reflectancias teóricas de diferentes coberturas de la superficie terrestre, en la regiones del espectro visible y parte del IR-p.

La vegetación, que ha de dar valores elevados en el canal verde y especialmente en los del IR-p. Los cambios en el grado de actividad y color de los vegetales a lo largo del año se traducen en cambios en su respuesta. De esta manera se pueden diferenciar caducifolios, coníferas, etc.

El agua líquida dará valores muy bajos en todos los canales, pero decrecientes desde el azul al IR-p, a partir del que su valor debería ser cero.

La nieve da valores muy altos en todos los canales visibles, pero presenta una caída de reflectividad en la zona del IR-p de 1,5-1,7 mm.

Las rocas dan valores variados según su color (consecuencia de su composición), y características de su pátina y recubrimiento vegetal (líquenes). La respuesta general se incrementa en el IR-p. Excepto en las zonas desérticas, es más fácil deducir el tipo de roca subyacente a partir de la asociación vegetal que la recubre.

Los suelos suelen tener un espectro continuo por su compleja composición. La respuesta de los minerales crece de manera continua con λ . La humedad y el humus disminuye su reflectancia.

Vegetación

8. Observar, en falsos colores, la imagen de la región árida (Fig. 7). Identificar visualmente los principales materiales y estructuras presentes: abanicos aluviales, rocas, suelos salinos y cultivos; estos últimos se identifican por su color y forma (circular, debida al riego por aspersión, o rectangular).

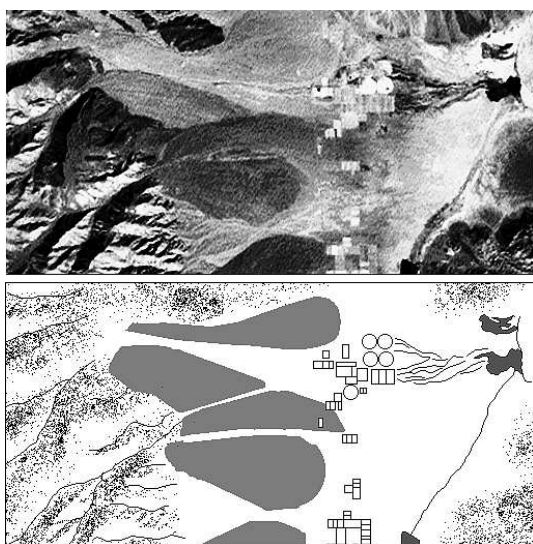


Figura 7. Imagen de una zona árida, con su interpretación simplificada.

En la zona izquierda (W), unos relieves forman barrancos que al llegar al llano originan abanicos aluviales. Un río con unos embalses atraviesa la imagen de NE a S.

En el llano, entre los barrancos y el río, hay algunos cultivos de regadío de forma geométrica; los círculos corresponden a campos regados por aspersión.

9. Obtener gráficos de la respuesta espectral de los diferentes materiales. Analizando las respuestas espectrales de diferentes píxeles, localizar algunos de agua.

10. Diferenciar el comportamiento característico de la vegetación activa respecto a los otros mate-

riales. Relacionar la respuesta espectral en las bandas verde y roja con el comportamiento fotosintético de los pigmentos vegetales. Destacar que la vegetación absorbe las radiaciones rojas para realizar la fotosíntesis y no usa las verdes. El valor medido por un sensor en la zona verde será más elevado que el de la zona roja. Esto se manifiesta a simple vista por el color de la vegetación. La elevada reflectividad en el IR-p es otra de las características de la vegetación activa.

Observar la posibilidad de diferenciar la vegetación activa de las rocas o del suelo desnudo a través de su respuesta espectral, debido a que la vegetación muestra valores bajos en el rojo y muy altos en el IR-p mientras que las rocas no muestran a la vez estos dos tipos de respuesta, por variado que sea su comportamiento espectral. Relacionar el comportamiento espectral de la vegetación con el color que muestra en la imagen en falso color.

11. Crear una imagen de índice de vegetación para detectar la presencia de vegetales activos (regadíos y algunos barrancos). Como la respuesta espectral de la vegetación difiere del resto de materiales en los canales rojo e IR-p simultáneamente, a partir de estos canales se pueden calcular unos índices de vegetación. Cada uno de ellos se puede considerar un nuevo canal, en el que los valores más altos corresponden a la vegetación más activa, y los más bajos a materiales no vegetales.

12. Observar la imagen compuesta en falso color de la Cerdanya. Fotointerpretarla.

13. Usando la imagen multicanal de la misma zona, buscar la respuesta espectral de píxeles problema. Interpretar las gráficas resultantes e identificar los materiales a que corresponden. Encontrar en ella zonas de vegetación, basándose en su comportamiento espectral.

14. En las imágenes aparecen algunos picos pirenaicos cubiertos de nieve. Analizar la respuesta de la nieve y relacionarla con el color que muestra en la imagen en falsos colores. Comparar la diferente extensión que presenta en las dos imágenes. La segunda se obtuvo a final de invierno y antes del deshielo, por lo que tiene una gran parte de su superficie cubierta de nieve, mientras que la primera, de otoño, apenas tiene.

15. Analizar la respuesta de diferentes tipos de vegetación. Cada cubierta vegetal presenta una respuesta ligeramente distinta. Por ejemplo las coníferas tienen una reflectancia más débil que las frondosas, y los caducifolios activos, más alta. La vegetación forestal que aparece en la región es una estratificación de caducifolios en las partes bajas y de coníferas, más resistentes a las bajas temperaturas, en las partes altas.

16. Estudiar la variación en la respuesta de los tipos de vegetación en las dos épocas del año a que corresponden las imágenes. En la imagen otoñal la vegetación estará poco activa, por lo que la reflexión en el infrarrojo será más baja de lo normal.

CONCLUSIONES

En los grupos en los que se ha trabajado este conjunto de actividades prácticas, se ha puesto de manifiesto la adquisición del alumnado de nuevos conocimientos y de un nuevo punto de vista sobre los que ya se tenían.

Así, han integrado en aplicaciones prácticas unos conocimientos previos sobre radiaciones., o han visto como unos métodos estadísticos pueden utilizarse para definir un tipo de comportamiento frente a las radiaciones solares. También han aprendido nuevos métodos de trabajo para el análisis de datos y aumentado su capacidad de lectura e interpretación de las imágenes de satélite, que tienen amplia difusión en todo tipo de medios.

La integración entre conocimientos teóricos y su aplicación práctica ha facilitado que éstos pasen a formar parte de la realidad del alumno.

BIBLIOGRAFÍA:

Denègre, J., ed. (1995). *Thematic mapping from satellite imagery*. Institut Geographique National, Paris.

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección espacial*. Rialp, Madrid.

Guyot, G. (1992). Bases Physiques de la Télédétection. Signatures spectrales des surfaces naturelles. En: *Utilisation pédagogique des images satellitaires*. Cépaduès. Toulouse.

Proy, C. (1990). Analyse des images de Télédétection. En: *Télédétection spatiale*. Cépaduès. Toulouse.

Sasal, M. T. y Soler, J. L. (1996). Geología con imágenes de satélite. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, vol. extra, IX Simposio sobre la Enseñanza de la Geología*. 127-129.

Scanvic, J.I. (1989). *Teledetección aplicada*. Paraninfo. Madrid. ■