



# TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA VISION TERRITORIAL Y SISTEMAS DE PROTECCION AMBIENTAL URBANO-RURAL (1ª Parte)

Francisco Sacristán Romero<sup>1</sup>

Fecha de recepción: 06/11/2005

Fecha de aceptación: 15/03/2006

## Resumen:

La Teledetección ofrece grandes posibilidades para la realización de progresos en el conocimiento de la naturaleza, aunque todavía no se ha logrado todo lo que de ella se esperaba debido a que se deben realizar perfeccionamientos en el nivel de resolución espacial, espectral y temporal de los datos. Además, es necesario un mayor rigor científico en la interpretación de los resultados obtenidos, tratando de no extraer conclusiones definitivas de los estudios medioambientales realizados mediante técnicas de Teledetección. Los modelos que se elaboran para interpretar los datos de Teledetección, deberán tener como objetivo eliminar los efectos ocasionados por la variabilidad en las condiciones de captación, la distorsión provocada por la atmósfera, y la influencia de parámetros tales como la posición del Sol, pendiente, exposición, y altitud. En este artículo voy a intentar desgranar las diversas y múltiples aplicaciones de la técnica de la teledetección al control de los residuos con efectos energéticos y medioambientales.

**Palabras clave:** / Teledetección / tecnología / Medio Ambiente / satélites de comunicación /

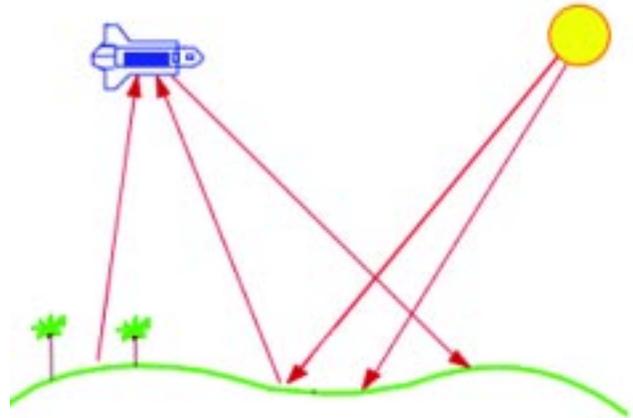
## Summary:

The Teledetection offers great possibilities for the accomplishment of progresses in the knowledge of the nature, although everything has still not been obtained what of her it was expected because they think to make improvements in the level of space resolution, spectral and temporary of the data. In addition, a greater scientific rigor in the interpretation of the obtained results is necessary, treating about not drawing definitive conclusions of the made environmental studies by means of techniques of Teledetection. The models that are elaborated to process the data of Teledetection will have to have like objective to eliminate the effects caused by the variability in the conditions of pick up, the distortion caused by the atmosphere and the influence of parameters such as the position of the Sun, slope, exhibition, and altitude.

**Key words:** / Teledetection / technology / ecology / communications satellites /

## I. Introducción

La preocupación de los ciudadanos por la escasez creciente de los recursos naturales y energéticos, así como las degradaciones que ha realizado el ser humano en su medio ambiente a través de sus actuaciones, muchas veces irracionales y contra natura, han plan-



*Croquis base de operatividad en la teledetección satelital.*

teado en el mundo entero la imprescindible necesidad de un mejor conocimiento de su hábitat natural dentro del cual se desenvuelve.

La adecuada planificación de las actividades humanas que las circunstancias actuales exigen, han de descansar en la realización de un inventario más completo y actualizado de las riquezas naturales nacionales e internacionales, ya sean agrícolas, forestales, hidrológicas, mineras, etc. De igual forma, la vigilancia sobre el medio ambiente debe ser mayor, ya que esta actitud producirá una reducción en los impactos sufridos por el medio hasta la fecha.

Los datos procedentes del servicio conocido como Teledetección son una gran fuente de información y desempeñan un importante papel en la consecución de los dos objetivos anteriormente apuntados.

Centrándonos más específicamente en el caso español, una de las acciones más importantes debe enfocarse a la calidad de las aguas y la detección de incendios, dos problemas de todos. El agua es una de las grandes riquezas de la Península Ibérica, indispensable para la vida y la ontogenia del ser humano. Si su calidad se deteriora, todos sufrimos las consecuencias: hombres, animales y plantas.

Preservar y mejorar la calidad del agua de nuestros ríos es cuidar el medio ambiente para todos y para todo. Los ríos españoles tienen una longitud total de 172.000 kilómetros, más de cuatro veces la vuelta al mundo. Vigilar su situación, impedir cualquier vertido contaminante, requiere un sistema moderno de análisis, que utilice las tecnologías de comunicación más avanzadas. Es preocupante que hoy un tercio de la longitud de nuestros ríos necesite una atención y saneamiento inmediato, según la información suminis-

<sup>1</sup>Doctor en Ciencias de la Información por la Universidad Complutense de Madrid. Licenciado en Ciencias de la Información, investigador en Electrónica de las Comunicaciones, Profesor Titular del Departamento de Historia de la Comunicación Social, Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Complutense de Madrid, E-mail: franciscosacristan@ozu.es

trada por el Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente.

Para que todos dispongamos de agua en la cantidad precisa, en el momento y lugar en que sea necesaria, hace falta una actuación planificada, global, de regulación de recursos. Pero junto a ella es indispensable también conservar la calidad del agua. Depurando por una parte, el agua utilizada, y a la vez vigilando su calidad, impidiendo su deterioro. Una tarea que hay que realizar de forma continua las 24 horas de cada día.

Otro asunto en el que existe una especial preocupación es el de los vertidos urbanos. En poco más de diez años, las grandes ciudades españolas en su inmensa mayoría, han abordado este problema de forma conjunta al de la depuración de las aguas residuales. Hacia mediados de los años '80, el 60% de nuestra población estaba ya conectada a sistemas de depuración. La Directiva Europea 91/271/CEE planteaba importantes retos: antes del año 2000 debían depurar sus aguas todas las poblaciones con más de 10.000 habitantes. Antes del año 2005 debían hacerlo las poblaciones con más de 2.000 habitantes.

Las empresas públicas y privadas españolas no podrán competir ni en Europa ni en el mercado interior si no asumen los costos de depuración. Por todo ello, el Plan de Regularización de Autorizaciones de Vertidos y Gestión del Canon, previsto en el Plan Hidrológico Nacional, necesita fundamentarse en sistemas altamente fiables de control y vigilancia.

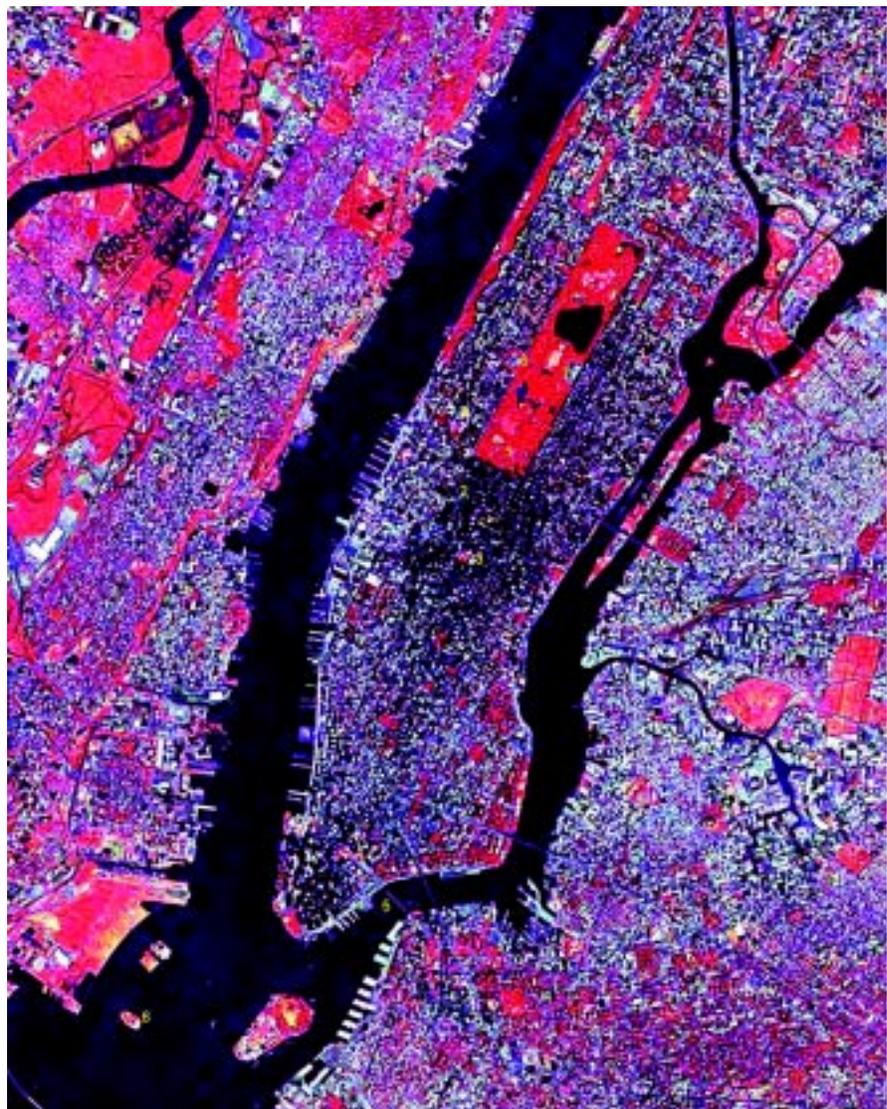
El uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura provoca graves alteraciones en la calidad del agua. En consonancia con lo acordado en la Directiva Europea 91/676/CEE sobre la contaminación producida por los nitratos, el Ministerio de Medio Ambiente y el de Agricultura están desarrollando en nuestro país la necesaria normativa.

Gracias a los trabajos realizados a través del sistema SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas), que se hace posible vía HISPASAT desde 1994, la reutilización de las aguas residuales, se ha convertido en una actuación básica en la calidad de las aguas. Existen ya importantes programas piloto en las Islas Canarias y en Madrid. Esta nueva aplicación de las aguas permite liberar recursos cada vez mayores para abastecimientos y otros usos, asegurando las necesidades en agricultura, en el riego de parques y jardines y en la recarga de acuíferos.

La estrecha relación que la Universidad Complutense de Madrid tiene con la sociedad HISPASAT S.A. ha permitido que dispongamos de una información muy detallada de lo que constituye el núcleo central de este artículo sobre medio ambiente: el

Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA). Adelantamos aquí algunos de los objetivos más importantes de este programa nacional:

1. Detectar y controlar la contaminación de los ríos y acuíferos, con carácter preventivo.
2. Cumplir y hacer cumplir las Directivas de la Unión Europea sobre la calidad de las aguas.
3. Control exhaustivo de los niveles de calidad por tramos de río en función de los requisitos establecidos para cada uso (abastecimiento, regadío, vida piscícola, etc.) y llegar a los objetivos finales de calidad de los Planes Hidrológicos de cuenca.
4. Protección de vertidos indeseados las 24 horas del día respecto a determinados empleos específicos, sobre todo los abastecimientos a núcleos de población.
5. Aplicación de forma eficiente de la normativa española, en particular de la Ley de Aguas, sancionando de forma ágil a los responsables empresariales y particulares de vertidos contaminantes para la salud.
6. Nuevas tecnologías y procedimientos modernos de gestión, que permitan, con poco personal de vigilancia, realizar una amplia cobertura de control de nuestra red hidrográfica de forma continua.



*En esta subescena, el eje está centrado en la isla de Manhattan. Se puede apreciar parte de la ciudad de Nueva York, sus rascacielos, puentes y demás puntos de interés turístico.*

El SAICA constituye, dentro de su género, uno de los sistemas más avanzados y pioneros de Europa, en concepción y tecnología. Es a la vez un sistema extremadamente económico, permitiendo la cobertura de todas nuestras Cuencas Hidrográficas con un presupuesto de 10.000 millones de pesetas, para el que cuenta con apoyo de fondos de la Unión Europea. Ha recibido el beneplácito de la Comisión Europea.

Este programa es un sistema de ámbito nacional, que recibe y procesa durante las 24 horas del día la información procedente de las Redes Integrales de Control de Calidad de las Cuencas Hidrográficas. Permite el control continuo y sistemático de la cantidad y calidad de las aguas de los ríos, según el uso a que estén destinados: abastecimiento, regadío, baños, etc.

El Sistema SAICA permite tener una información real e inmediata de lo que sucede en nuestros ríos y acuíferos. Por ello se pueden desgranar, entre otras, las siguientes funciones:

1. Alerta automática de protección, principalmente para abastecimientos.
2. Diagnósticos continuos de calidad por tramos de río, según los usos de cada segmento de terreno.
3. Datos estadísticos, informes temáticos, realizando el seguimiento de los diferentes tipos y niveles de contaminación.
4. Estrategias de control, vigilancia y sanción de vertidos contaminantes.
5. Simplificación de procedimientos, informatización, mayor agilidad en las autorizaciones de vertido y expedientes sancionadores.
6. Informes a la Unión Europea para el cumplimiento de las diferentes Directivas sobre la Calidad de las Aguas.

A modo de apunte general en esta introducción, que posteriormente desarrollaremos con más amplitud y detalle, precisaremos que en cada Cuenca Hidrográfica, el SAICA cuenta con una red de información de Calidad de las Aguas. En total, el sistema se compone de:

- Estaciones de Muestreo Periódico (EMP).
- 200 Estaciones de Muestreo Ocasional (EMO).
- 115 Estaciones Automáticas de Alerta (EAA).
- 9 Centros Periféricos de Proceso (CPP), uno en cada Cuenca Hidrográfica.
- Una Unidad Central en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- El enlace entre todo el sistema se realiza usando el sistema HISPASAT.

Las "estaciones automáticas de alerta" realizan mediciones de forma continua de los diferentes parámetros elegidos sobre la calidad de las aguas. Realizan el alerta cuando detectan que determinados parámetros de calidad superan los valores exigidos por la normativa vigente.

Disparada una alarma, el sistema pone en marcha automáticamente mecanismos de interrupción de tomas de suministro de agua a poblaciones, a la vez que lleva a cabo los análisis que permiten identificar el vertido causante de la alarma y su posible origen, facilitando así las medidas sancionadoras.

Las Estaciones de Control, instaladas en los puntos más conflictivos de los ríos, transmiten a los Centros de Proceso de cada

cuenca y a la Unidad Central del Ministerio de Medio Ambiente la información sobre la calidad de las aguas a través del satélite español HISPASAT, mediante el sistema VSAT. En los Centros de Control se investigan las causas, se analizan las posibles consecuencias de cada contaminación y se advierte a la inspección. Entran así en funcionamiento los mecanismos de policía de agua previstos en nuestras leyes.

En estos momentos, el funcionamiento normal del sistema SAICA pasa por ser la mejor opción para mantener y mejorar la calidad de las aguas de nuestros ríos y acuíferos. Este sistema tiene en cuenta las responsabilidades en materia de saneamiento y depuración de las Administraciones Locales y Autonómicas. Hace posible la coordinación con la Administración Central del Estado que es a quien corresponde el control, vigilancia y conservación del dominio público hidráulico, garantizando así la calidad de las aguas continentales.

Este sistema contribuye de forma importante a la realización del Plan Hidrológico Nacional, convirtiendo a España en uno de los países europeos con más y mejores recursos hidrológicos, a pesar de los pasados años de sequía pertinaz. En suma, una buena herencia para las próximas generaciones si saben aprovecharlo con racionalidad y coherencia.

Aparte del Sistema SAICA, ampliaremos información con apartados sobre el avance más reciente de la "Teledetección", una tecnología abanderada en el estudio de los impactos medioambientales. Nos centraremos en algunos de los antecedentes, características de los datos estadísticos de Teledetección, satélites de recursos naturales anteriores a HISPASAT, para luego exponer con más profundidad nuestra explicación sobre el SAICA.

## II. La función de la Teledetección en el estudio del medio ambiente

La Teledetección de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, que está basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre.

Todos los elementos de la Naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina "signatura espectral". La Teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su signatura espectral.

La información se recoge desde plataformas de observación que pueden ser aéreas o espaciales, pues los datos adquiridos a partir de sistemas situados en la Tierra constituyen un estadio preparatorio de la Teledetección propiamente dicha, y se consideran como campañas de verdad terreno.

Las plataformas de observación portan los captadores, es decir, aquellos instrumentos que son susceptibles de recibir y medir la intensidad de la radiación que procede del suelo en una cierta gama de longitudes de onda, y para transformarla en una señal que permita localizar, registrar y digitalizar la información en forma de fotografías o imágenes numéricas grabadas en cinta magnética compatibles con un ordenador (CCT).

Los captosres pueden ser cámaras fotográficas, radiómetros de barrido multiespectral (MSS), radares y láseres. Estos aparatos generan imágenes analizando la radiación emitida o reflejada por las formas y objetos de la superficie terrestre en las longitudes de onda en las cuales son sensibles (ultravioleta, visible, infrarrojo próximo, infrarrojo técnico, hiperfrecuencias) con el fin de reconocer la variada gama de formas y objetos.

## II.1. Satélites de Recursos Naturales LANDSAT

Con objeto de hacer un breve recorrido histórico sobre los satélites con servicios destinados al cuidado del Medio Ambiente, empezamos este apartado por el sistema que se considera uno de los pioneros: el LANDSAT, primer satélite de recursos naturales lanzado por la NASA en julio del ya lejano 1972. Con posterioridad a este lanzamiento, fueron puestos en órbita los satélites LANDSAT 2 y LANDSAT 3, en enero de 1975 y marzo de 1978 respectivamente, con la finalidad de asegurar la recogida de datos para ulteriores estudios. Los satélites LANDSAT están situados en una órbita casi polar y sincrónica con el Sol, a 920 kilómetros de altura sobre la superficie de la Tierra. Tardan en efectuar una órbita completa 103 minutos, barren la superficie terrestre cada 18 días y obtienen información simultánea de zonas de la Tierra de 185 x 185 Km. (aproximadamente 34.000 Km.).

Los satélites LANDSAT están provistos de sensores remotos de varios tipos. El primero es el RBU (Return Beam Vidicon) que consiste esencialmente en un sistema de cámaras de televisión. El segundo sensor es un equipo de barrido multiespectral o MSS (Multispectral Scanner) que registra la energía reflejada por la superficie terrestre en las regiones verde, roja e infrarroja del espectro electromagnético. La unidad elemental de información tiene una resolución espacial de 79 metros.

Las señales analógicas registradas por los sensores se convierten a un formato digital y se transmiten a la Tierra. Los datos del LANDSAT se comercializan bien en forma de productos fotográficos, bien en forma de imágenes digitales grabadas en cintas magnéticas compatibles con ordenador.

## II.2. Características de los datos de Teledetección

El conjunto de los datos adquiridos mediante procedimientos de Teledetección de aviones o naves espaciales comprenden siempre tres tipos de información (Goillot, 1976):

1. Una información espacial que representa la organización en el espacio físico de los elementos que constituyen la imagen.
2. Una información espectral que caracteriza y puede conducir al conocimiento de la naturaleza de la superficie terrestre.
3. Una información temporal que permite la detección de los cambios operados en la superficie de la Tierra con el transcurso del tiempo.

Además, los sensores remotos, especialmente los radiómetros de barrido multiespectral de la serie de satélites LANDSAT, realizan una percepción muy particular del Medio Ambiente y del paisaje que se caracteriza porque existe una homogeneización de la imagen que es función del nivel de resolución de los sensores o captosres.

La información elemental o **pixel** (contracción de "picture element") tenía, a principios de la década de los '80, para el satélite LANDSAT unas dimensiones sobre el terreno de 56 m. x 79 m. Estas unidades informativas se disponen en la superficie terrestre a

modo de malla geométrica con una cierta inclinación respecto a meridianos y paralelos, pareciéndose en cierto modo a la malla UTM o LAMBERT. La malla del LANDSAT no tiene ninguna relación con los límites geográficos de los objetos situados en la superficie terrestre.

En estas condiciones, lo más normal es que un **pixel** tenga una naturaleza heterogénea, pudiendo englobar en el caso de una zona urbana, a una manzana de casas, un jardín o una autopista. Las diferencias locales se diluirán en la respuesta promedio, y este efecto crea una ilusión sobre la existencia de zonas de transición y zonas de contacto gradual entre distintas unidades de paisaje. Dicho efecto no se manifiesta cuando existe un contraste brusco entre dos usos del suelo contiguos; por ejemplo, un movimiento de tierras reciente en el interior de un bosque cerrado. La existencia de un contraste brusco puede permitir observar en una imagen objetos cuyas dimensiones sean inferiores a las de un **pixel**.

En definitiva, los datos adquiridos a través de Teledetección se caracterizan por las siguientes propiedades (Tricart, 1979):

1. Posibilidad de obtener información sobre aspectos del medio natural que escapan totalmente a nuestros sentidos (ondas de radar, infrarrojo de LANDSAT, etc.). La experiencia natural del hombre es, por lo tanto, nula en estos dominios espectrales, y por esta razón se realizan visualizaciones que tienen una función y utilidad análogas a las fotografías aéreas, y que se denominan imágenes para evitar la confusión.
2. Estas informaciones que son registradas por los sensores, y que miden la cantidad de energía reflejada o emitida por los objetos naturales que componen el paisaje son de tipo numérico, y se prestan al tratamiento matemático. Por otro lado, su extremada abundancia obliga al empleo de grandes ordenadores y métodos de tratamiento de datos muy sofisticados y potentes.
3. Los datos extraídos de los servicios de Teledetección nos revelan ciertos aspectos de los ecosistemas difíciles de estudiar, prácticamente desconocidos, contribuyendo de una forma eficaz al conocimiento de los mismos y de su funcionamiento (detección de enfermedades en las plantas, efectos del stress debido a la falta de agua, transpiración, régimen térmico, etc.).
4. Por último, la Teledetección permite seguir la evolución de las grandes extensiones forestales que persisten en la superficie del globo, tener una visión de conjunto sobre los efectos producidos por las grandes catástrofes (como por ejemplo, las sequías aterradoras de las regiones saharianas de África) y reconocer ciertos fenómenos de polución a gran escala en el cielo y en el mar.

## II.3. Resolución espacial de los Satélites de Protección Medioambiental

En la década de los años '70, la mayoría de las imágenes de satélites empleados en el estudio de los fenómenos terrestres pertenecían a la serie LANDSAT.

Muchos científicos han realizado aplicaciones empleando dichas imágenes, sobre todo en los Estados Unidos, pero también muchos otros se dieron un compás de espera debido a la baja resolución espacial de dichas imágenes con respecto a la fotografía aérea convencional. La mayoría de los satélites de recursos naturales que se han diseñado y construido para ser lanzados al espacio en la década de los '80, han proporcionado imágenes con mejoras sustanciales en la resolución espacial con respecto a los satélites pioneros.



*Aplicación de software Pictometry de imágenes oblicuas en un punto del condado de York*

La necesidad de disponer de imágenes con mejor definición espacial quedó parcialmente satisfecha con el lanzamiento, en 1982, del LANDSAT D, y por el satélite SPOT (Sistema Probatorio de Observación de la Tierra) que fue puesto en órbita en 1984. Además, el lanzador COLUMBIA dispuso de cámaras métricas con resoluciones inferiores a los 10 metros.

Estos avances en la tecnología de los sensores remotos permitieron decir a Allan, hacia mediados de los años '80, que la mapeación de las grandes áreas a partir de las imágenes satelitales estaría muy extendida (Allan, 1977: 7-14).

En un principio, las imágenes se construían por medio del movimiento de un espejo situado transversalmente a la órbita del satélite. La imagen final estaba constituida por una matriz de elementos de imágenes o **píxeles**. Este método se empleó en el sistema multispectral scanner MSS de los satélites LANDSAT 1, 2 y 3, y se empleó en el mapeado temático del LANDSAT D. En los radiómetros de barrido ("**pushbroom radiometers**") no es necesario el espejo oscilante antes mencionado pues, un «chip» monolítico de silicón posee cientos o miles de detectores en línea con amplificadores y circuitos electrónicos multiplexados (Thompson, 1979: 47-55).

Estos detectores hacen un muestreo electrónicamente, de tal forma que un vector que contiene toda una línea de la imagen, se registra al mismo tiempo que el satélite avanza a lo largo de la órbita un elemento de resolución.

Las carreteras y ríos de anchura inferior a 79 metros son frecuentemente detectables en las imágenes LANDSAT. La alineación de los objetos es también muy importante, y la eficacia en la detección depende mucho de que el eje central del objeto se encuentre en la mitad de una línea de barrido o en la frontera

entre dos líneas de barrido. En el segundo caso, la detección es más difícil.

Mientras hay objetos inferiores a 79 metros que se pueden detectar, muchos objetos de tamaño igual o mayor no son detectables. En las imágenes LANDSAT se ha mostrado que los objetos de bajo contraste sólo son detectables si tienen una longitud superior a 250 metros.

Una consecuencia obvia de todo esto es que la habilidad del sensor para detectar objetos depende del contraste con los alrededores, y está en relación con la sensibilidad que posee el captor para detectar pequeñas diferencias. El tamaño mínimo de los objetos que son detectables en una imagen también está en función de las condiciones atmosféricas locales (González Alonso y Cuevas Góvalo, 1982: 15).

Finalmente, para que la utilidad de los satélites sea mejor entendida y los futuros sistemas se diseñen de una manera más eficiente, Townshend indicaba que sería necesario investigar dos áreas principales (Townshend, 1981: 31-55):

- Elaboración de medidas de resolución que reflejen mejor la cantidad y calidad de la información que puede extraerse de los datos.
- Desarrollo de índices que midan las propiedades espaciales de los atributos (vegetación, geología, etc.) en el terreno.

### III. Métodos de tratamiento para la extracción de información de los datos de Teledetección

El lanzamiento del satélite LANDSAT 1 en 1972 inauguró una nueva era para los estudios del medio ambiente, proporcionan-

do datos de alta calidad que se pueden obtener a intervalos frecuentes sobre cualquier zona de la superficie terrestre. Sin embargo, la capacidad de obtener información desde los satélites es mayor que la capacidad que hasta hace poco tiempo se tenía para analizar e interpretar los datos de una forma totalmente eficaz.

En los albores iniciales del programa LANDSAT, se estableció una especie de diálogo de sordos entre los promotores de la Teledetección (que a menudo tenían una formación en ingeniería técnica o superior, en física o en informática) y los usuarios potenciales (geólogos, geógrafos, agrónomos forestales, hidrólogos, etc.) debido a que los primeros interpretaban las imágenes de forma demasiado ingenua, según la opinión de los usuarios, que a su vez hacían gala de gran escepticismo, alimentado por una cierta inercia de cara a su necesario reciclaje.

De una forma progresiva estas barreras tienden a desaparecer y así, cada vez más, profesionales de formación académica muy diferente tienden a las colaboraciones mutuas y al intercambio de informaciones. Además, en Teledetección, existe muy a menudo una interacción grande entre las técnicas y las aplicaciones, debido a que estas últimas permiten frecuentemente replantearse los métodos empleados.

Las técnicas de tratamiento de datos en Teledetección tienen como objetivo esencial ayudar al investigador en la interpretación de los datos procedentes de sensores remotos.

### 3.1. La interacción hombre-máquina

Desde hace más de una década, los esfuerzos realizados para extraer información a partir de sensores remotos multiespectrales van dando progresivamente resultados.

Dichos esfuerzos se han centrado esencialmente en la aplicación de las técnicas de reconocimiento automático de patrones a las medidas de multiespectro que caracterizan a los elementos de resolución. Generalmente, las escenas son clasificadas **pixel a pixel** basándose en los vectores de medidas espectrales que están asociados a los elementos que componen la imagen, empleando para este proceso ordenadores y programas desarrollados al efecto.

Los sistemas completamente automáticos de tratamiento de imágenes digitales, no han proporcionado resultados del todo satisfactorios en las aplicaciones relativas a la mapeación de usos del suelo.

La perfección del ojo humano es muy grande y el papel que ha de desarrollar el analista como fotointérprete es esencial, tanto en la interpretación de las imágenes fotográficas, como en el proceso automático de las imágenes digitales. Por ello, cada vez más, los sistemas de tratamiento se diseñan de tal forma que intervienen más activamente en el proceso especialistas de las ciencias medioambientales.

El papel del especialista consiste en incorporar al sistema su conocimiento del medio ambiente, particularmente las peculiaridades regionales de las imágenes en cuestión, localizando en el espacio los distintos tipos de cubierta u otros fenómenos que estén acordes con las relaciones ecológicas y/o antropógenas que se manifiestan en las imágenes.

Los progresos que preferentemente se han llevado a cabo en la cuestión del tratamiento numérico, consisten en la puesta a punto de dispositivos de visualización que permiten un diálogo permanente del investigador con el ordenador, pudiendo escoger aquél los tratamientos numéricos adecuados, y una vez aplicados, controlar

los resultados, apreciando la concordancia existente entre dichos resultados y sus conocimientos (Tricart, 1979).

### III.2. Clasificación automática de los datos de Teledetección

La clasificación automática de los datos digitales de Teledetección es una gran ayuda para el investigador en la interpretación de imágenes multiespectrales.

El objetivo de toda clasificación es el reconocimiento de clases o grupos cuyos miembros tengan ciertas características en común. El resultado ideal sería la obtención de clases mutuamente excluyentes y exhaustivas. En Teledetección, las clases obtenidas cuando se realiza una clasificación deben ser espectralmente diferentes unas de otras, y además deben contener un valor informativo de interés para la investigación de que se trate.

Tradicionalmente, se han seguido dos enfoques en la realización de las clasificaciones: uno de tipo supervisado y otro de tipo no supervisado. El enfoque de tipo supervisado supone un entrenamiento de clasificador a través de un conocimiento a priori de la verdad terreno que se ha seleccionado como representativa de las clases informacionales que se quieran reconocer en la imagen. El enfoque no supervisado no precisa el conocimiento previo de una verdad terreno, y tiene la pretensión de segmentar la imagen en una serie de clases por procedimientos exclusivamente numéricos, basándose sólo en la estructura que posean los datos espectrales.

En las clasificaciones supervisadas, normalmente se parte de la hipótesis de que la distribución de los datos espectrales es normal multivariante, lo que permite la utilización de procedimientos paramétricos, tales como los clasificadores bayesianos.

Ahora bien, suele ocurrir que los datos espectrales no se ajustan bien a la distribución multinormal, pudiendo ser arriesgado sustentar la hipótesis anterior. Maynard y Strahler propusieron el clasificador Logit (Maynard y Strahler, 1981), un clasificador no paramétrico. En una simulación realizada con ordenador generando datos no normales, el clasificador Logit fue significativamente superior al bayesiano, mejorando la exactitud en un 34 %. Cuando se utilizó dicho procedimiento en una zona agrícola, y con datos LANDSAT reales, el incremento de precisión experimentado fue del 39%.

Los mayores problemas que subyacen a las clasificaciones de tipo supervisado son:

1. Validez de las clases espectrales, construidas en la fase de entrenamiento de los clasificadores, para representar a las clases informacionales que se quieren reconocer.
2. Elevado costo (desde el punto de vista del tiempo de cálculo) que puede suponer la realización de tales clasificadores. Una forma eficaz de reducir el costo de las clasificaciones consiste en el empleo de las tablas de clasificación. Estas tablas están basadas en la alta correlación que presentan las cuatro bandas del radiómetro del LANDSAT, lo que reduce el número de combinaciones espectrales distintas que se pueden presentar en la imagen. De esta forma, normalmente en una imagen LANDSAT, sólo se presentan varios miles de combinaciones de las aproximadamente 16 millones de combinaciones espectrales posibles.

La fiabilidad de las clasificaciones realizadas mediante este procedimiento suele tener el mismo orden de magnitud que la obtenida mediante los métodos convencionales, pero el tiempo de cálculo es sensiblemente inferior.



*Ciudad de Buenos Aires* Este tipo de combinación propuesta por la NASA permite distinguir con gran detalle las zonas urbanizadas y los espacios verdes de una ciudad. Debido a su gran tamaño, esta imagen debió ser comprimida. No obstante, se observa la ciudad con gran detalle.

### III.3. Técnicas de mejora de las clasificaciones de datos en Teledetección

La modesta y limitada precisión que se obtuvo desde un punto de vista estrictamente estadístico, en la realización de clasificaciones convencionales de una sola imagen LANDSAT, fue un estímulo esencial en los investigadores para la realización de estudios multitemporales y de análisis que tuviesen en cuenta el contexto o información espacial de la imagen, además de la información espectral que es la característica.

#### III.3.1. Estudios multitemporales

El objetivo principal de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas, con distintos estados fenológicos en la vegetación, de cara a la obtención de un incremento en la precisión de las clasificaciones.

La integración de imágenes de satélite relativas a una misma área pero de fechas sucesivas, se realiza a través de un procedimiento de registro multitemporal de las imágenes. Este proceso consiste, en líneas generales, en obtener la posición de una imagen con respecto a otra que proporciona la máxima correlación en el espacio de los datos radiométricos. El resultado final que se obtiene es una sola imagen que posee tantos canales espectrales como bandas suman las imágenes procesadas.

En los estudios multitemporales se pueden emplear diversas metodologías, pero conviene tener en cuenta algunas consideraciones:

- a. La intersección de clasificaciones de imágenes pertenecientes a distintas fechas reduce generalmente las clasificaciones erróneas, en el sentido de que un elemento que no posea cierta cualidad puede ser clasificado como poseedor de ella, pero también aumenta los errores en el sentido de que un individuo que tiene dicha cualidad puede ser clasificado como que no la posee.

- b. La superposición o integración de las imágenes previamente a la clasificación reduce generalmente los errores de clasificación en ambos sentidos.
- c. El producto de las probabilidades de clasificación por separado en ambas imágenes, generalmente proporciona mejores resultados que el método anterior, estando además mejor adaptado a la metodología de clasificación supervisada, pues permite mayor libertad en la elección de las áreas de entrenamiento en cada una de las imágenes por separado.

Expondremos algún ejemplo que ayude a la explicación de todo lo anterior. Así, Megier ensayó los procedimientos anteriores en un problema referente al inventario de choperas en el valle del río Po, y consiguió mejorar la ratio: número de **píxeles** de chopo en la realidad, del 0,94 (estudio unitemporal) al 0,96 (estudio multitemporal), (Megier, 1977: 135-140).

### III.3.2. Clasificaciones de contexto

Las imágenes de Teledetección se pueden considerar como un proceso aleatorio en dos dimensiones, y las características de este proceso se pueden incorporar a la estrategia de clasificación. Mientras los datos espectrales se han empleado en la mayoría de las aplicaciones de LANDSAT, algunos investigadores han fijado su atención en el contexto espacial de los mismos.

Una de las razones por la que en los inicios de la investigación de cuestiones medioambientales no se tomó con la debida consideración la información espacial, estuvo en que los datos espectrales pueden analizarse fácilmente **pixel a pixel**, mientras el empleo de la información del contexto ecológico requiere la consideración de varios o muchos **píxeles** para obtener una estructura espacial significativa.

El análisis espacial de los datos es más difícil que el análisis espectral, pues requiere el conocimiento de complejas técnicas matemáticas para poner de manifiesto la estructura de los datos. La denominación de "clasificadores de contexto" alude a aquellas técnicas de clasificación que tienen en cuenta las características ecológicas y

espectrales de las imágenes de Teledetección, con el objetivo de obtener resultados más precisos.

Las características espaciales incluyen factores tales como la forma, la textura y las relaciones estructurales. Una manera de incorporar la información espacial puede consistir en la hipótesis de que el tipo de cubierta asociado a un **pixel** determinado no es independiente del tipo de cubierta que presentan los **píxeles** vecinos. Por ejemplo, determinados tipos de cubierta del suelo aparecen con mayor frecuencia en un contexto dado.

A priori, es fácil aceptar que una parcela de trigo es más probable que esté al lado de una de cebada, que contiguamente a una zona urbana de alta densidad. Desde el punto de vista de la clasificación estadística, existirán más posibilidades de clasificación correcta de un **pixel** si, además de la información espectral asociada al mismo, se tienen en cuenta sus relaciones con las medidas de reflectancia y/o las clases asignadas a los **píxeles** de su vecindad.

Swain realizó experiencias usando clasificadores de contexto y obtuvo los siguientes resultados: empleando un conjunto de 50 x 50 **píxeles** situados en una zona agraria de Williston (Norte de Dakota), con una resolución espectral y espacial semejante a la del Thematic Mapper del LANDSAT D, produjo porcentajes de clasificación correcta que oscilan entre el 82,5 (en el caso del clasificador convencional) y el 96 (en el caso del clasificador de contexto). (Swain, 1979: 343-353).

Con el empleo de un conjunto de datos relativos a una zona urbana en Grand Rapids (Michigan), obtenidos de una imagen LANDSAT, los resultados de clasificación correcta variaron entre el 54% (clasificador convencional) y el 96% (clasificador de contexto). Cuando se realizó un experimento en una situación real sobre un área extensa de Grand Rapids, en el que se emplearon muestras para comprobar el porcentaje de clasificación correcta, el uso de información espacial mejoró este porcentaje del 81,6 al 84,6.

Por último, debemos reseñar que el tiempo de cálculo en el empleo de los clasificadores de contexto puede ser sensiblemente superior que en el caso de los clasificadores convencionales, sobre todo si se emplean imágenes de alta resolución espacial.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J.A., (1977), "Land use changes in land use in the Ural area of Aegean Turkey", in *Monitoring Environmental Change by Remote Sensing*, Ed. van Genderen and W. G. Collins, Londres.
- Cole, M. M., (1974), "Recognition and interpretation of spatial signatures of vegetation from aircraft and satellite imagery in Western Queensland, Australia", proceedings of the Frascati Symposium, ESRD, Paris.
- Fleming, M. D. y Hoffer, R. M., (1979), "Machine processing of LANDSAT MSS data and DMA topographic data for forest cover type mapping", proceedings of the 1979 Symposium of Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- González Alonso, F., y Cuevas Gózaló, J. M., (1982), *Los satélites de recursos naturales y sus aplicaciones en el campo forestal*, Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.
- Husson, A., (1980), "Teledetección de los incendios forestales en la región mediterránea", *Les cahiers de l'OPIT*, París.
- Kalensky, Z., (1974), "ERTS thematic map from multivariate digital images 2", Can. Inst. Surv., Ottawa, Ontario, pp. 767-785.
- Lapietra, G. y Cellerino, G. P., (1980), "Elaborazione di immagini LANDSAT mediante il sistema ER-MAN II per un inventario della Pioppicoltura italiana", *Cellulosa e Carta* 6.
- Megier, J., (1977), "Multi-temporal digital analysis of LANDSAT data for inventory of popular planted groves in North Italy", proceedings of the International Symposium on image Processing, Interactions with photogrammetry and Remote Sensing, Graz.
- Townshend, J. R., (1981), "The spatial resolving power of earth resources satellites", *Progress in Physical Geography*, 5 (1).
- Tricart, J. L., (1979), "P aísaje y ecología" en *Revue de Géomorphologie Dynamique*, XXVIII, 3.
- Shasby, M. B., et al. (1981), Broad area forest fuels and topography mapping using digital LANDSAT and terrain model. U.S., Department of Interior, Geological Survey, Sioux Falls, South Dakota.
- Van Genderen, J. L. y Lock, B. F., (1976), Methodology small scale rural land use maps in semi-arid developing countries using orbital imagery, Final Report to NASA, investigation 9680, Department of Industry, London.