

Esta es la última entrega del artículo sobre Teledetección, una herramienta que 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.

### TERCERA PARTE

# La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental

Francisco Sacristán Romero, *Doctor en Ciencias de la Información por la Universidad Complutense de Madrid*

Una de las aplicaciones más operativas en materia de Teledetección forestal es la relativa a los incendios forestales. La aplicación de la técnica de componentes principales sirvió para la localización de las especies forestales más susceptibles de ser afectadas por los incendios, lo que puede permitir la realización de una vigilancia más intensa de las zonas más peligrosas.

Desde 1977, la OPIT (Comisión Interministerial Francesa para el desarrollo de la Teledetección) tiene un programa de estudio sobre Teledetección e incendios forestales, cuyo objetivo es la evaluación de las posibilidades que ofrecen las imágenes LANDSAT para una mejor comprensión de los incendios forestales en la región mediterránea, así como la comparación de estos datos con las informaciones adquiridas a través de métodos más convencionales (Husson, 1980).

La evaluación de las superficies incendiadas es una operación difícil. Generalmente, estos trabajos son realizados por los métodos convencionales-partes de incendio que conducen a una sobreestimación de las superficies más o menos importantes; así el incendio de Aspres, el



mayor incendio forestal francés de 1976, se estimó en 6.600 ha por la DDA de los Pirineos Orientales y en sólo 4.100 ha mediante Teledetección.

Estas diferencias se deben a las modificaciones en el parámetro del fuego, pero esencialmente a que mediante Teledetección sólo se tienen en cuenta las superficies realmente destruidas, sin ser consideradas las zonas simplemente re-

corridas por las llamas. La resolución espacial de las imágenes LANDSAT es de 0,4 hectáreas, pero para distinguir correctamente un objeto, éste debe cubrir de seis a diez píxeles. En consecuencia, los incendios con una superficie inferior a 3 ó 4 hectáreas generalmente no son apreciables en las imágenes LANDSAT.

La extensión mínima a partir de la que se pueden realizar evaluaciones

de la superficie quemada con una buena precisión depende del tipo de vegetación afectado, de la antigüedad del incendio, de la topografía y del contraste entre la zona quemada y el medio ambiente circundante. Esta extensión mínima se puede fijar en 10 hectáreas para cualquier incendio forestal.

Normalmente, los incendios producidos en montes altos se perciben mejor que los ocurridos en matorrales y zonas arbustivas (garriga, maquis). Las zonas quemadas suelen tener una gran heterogeneidad espectral que aumenta con el transcurso del tiempo; por esta razón el satélite sólo permite distinguir bien los incendios ocurridos en el período de un año.

Los incendios que afectan a vegetaciones parecidas tienen firmas espectrales similares, lo que obliga a reagruparlas en dos grandes categorías: incendios en montes altos e incendios en matorrales leñosos (se ha detectado que los incendios de estos últimos no son perceptibles si la imagen es de una fecha tres o cuatro meses posterior al incendio).

La respuesta espectral de todos los objetos presentes en un píxel influye en la respuesta espectral del mismo. Por ello, un incendio sólo será perceptible cuando el fenómeno fuego tenga una respuesta suficientemente fuerte. El fenó-



*El estrecho de Gibraltar visto desde el espacio.*

En el estudio de los incendios forestales, la fecha ideal para elegir la imagen LANDSAT parece ser finales de septiembre o comienzos de octubre, pues es cuando suele acabar la temporada de los grandes incendios forestales.

Por último, debemos destacar que los datos LANDSAT también se han venido empleando respecto a los incendios forestales bajo una perspectiva muy diferente: la de contribuir al establecimiento

## «Los bosques incendiados aparecen en las imágenes tomadas desde el espacio como zonas en sombra debido a que los troncos quemados absorben el infrarrojo»

de cartografías de tipos de combustible, integradas en modelos matemáticos de previsión de la conducta del fuego. Un proyecto de este tipo fue realizado en el Lolo National Forest de Montana (Estados Unidos) por Shasby, aportando unos resultados satisfactorios (Shasby, 1981).

La cartografía de tipos de combustible se llevó a cabo a través de un proceso clasificatorio bietápico. En la primera clasificación se usaron sólo datos

de cartografías de tipos de combustible, integradas en modelos matemáticos de previsión de la conducta del fuego. Un proyecto de este tipo fue realizado en el Lolo National Forest de Montana (Estados Unidos) por Shasby, aportando unos resultados satisfactorios (Shasby, 1981).

La cartografía de tipos de combustible se llevó a cabo a través de un proceso clasificatorio bietápico. En la primera clasificación se usaron sólo datos

LANDSAT para la obtención de clases espectrales, que son posteriormente clasificadas independientemente en clases de combustible, a través de una selección de variables fisiográficas. Este proyecto es un buen ejemplo de la integración de bases de datos LANDSAT y geográficos.

## APLICACIONES FORESTALES DE TELEDETECCIÓN EN ESPAÑA

La aplicación a cuestiones forestales de las imágenes de satélites y en concreto del LANDSAT fueron muy reducidas en España hasta mediados de la década de los ochenta. Se hizo entonces necesaria la realización de trabajos pilotos que permitiesen apreciar las posibilidades y limitaciones concretas de las imágenes LANDSAT en la variada geografía forestal española, y conocer a qué problemas concretos nos enfrentaríamos en el futuro inmediato (falta de resolución, relieve acentuado, etc.).

Se estimó que el uso de imágenes vía satélite en el ámbito forestal debía generalizarse. No debía pensarse sólo en proyectos específicos y de alta complejidad, sino que progresivamente la información ofrecida por los satélites debía incorporarse, bajo formas más o menos elaboradas, al conjunto de datos disponibles por el gestor de un área determinada, al igual que ocurrió con la fotografía aérea convencional.

Entre los asuntos concretos en que los datos ofrecidos por los satélites LANDSAT y SPOT podían, no sólo demostrar su utilidad, sino facilitar resultados difícilmente obtenidos por métodos más convencionales, se pueden nombrar los siguientes:

1. Seguimiento de las masas naturales o de repoblación de especies de crecimiento rápido o semirápido (pino marítimo, pino insignis y eucalipto en el Norte y Noroeste, eucalipto en el Suroeste). Estas masas evolucionan muy rápidamente, no sólo en sus existencias, sino en las superficies ocupadas. En un período superior a cinco años se puede considerar anticuado un vuelo que cubra estas áreas; por otro lado, su fotointerpretación es difícil, y la cartografía resultante deficiente debido al pequeño tamaño de las parcelas.



2. Seguimiento e inventario de cho- peras. En otros países, como Italia, se han realizado experiencias que mostraron la utilidad de los datos LANDSAT para distinguir tipos de masa según cada cubierta (edad), siendo buenos los resultados en las masas cercanas a la madurez.

3. Evaluación de incendios forestales. Las imágenes de satélites aparecen como insustituibles para el cálculo rápido, económico y fiable de superficies quemadas por su periodicidad y actualidad.

4. Estimación y localización de superficies afectadas y daños ocasionados en masas atacadas por la procesionaria u otras plagas y enfermedades.

5. Mejora y actualización de la cartografía forestal a media o pequeña escala, con la posibilidad de incorporación de información sobre las formaciones vegetales no arbóreas.

En definitiva, fueron útiles todos aquellos trabajos relativos al medio ambiente natural en zonas donde se producen cambios rápidos y difícilmente controlables, pudiéndose citar proyectos relativos a: estudios de dehesas, mapifi-

cación de cubiertas de nieve, evaluación de procesos erosivos, estudios de zonas inundables, mapas de usos actuales de la Tierra, impactos de actividades humanas en el paisaje, etc.

### **VIGÍA 2000 POR SATÉLITE. SISTEMA DE DETECCIÓN INMEDIATA DE INCENDIOS**

En España, la llegada del verano va acompañada de la inexorable y fatal compañía de los incendios forestales, una cruel plaga devastadora que año tras año destruye miles de hectáreas de arbolado, pastos y cultivos, de muy difícil y lenta recuperación. La repercusión de los efectos ambientales en las zonas quemadas es tremendamente negativa, alcanzando algunas veces las fatalidades de estos hechos hasta la pérdida de vidas humanas y materiales. Existen dos factores básicos en la capacidad de destrucción propia de un incendio forestal que se deben analizar de forma detallada:

1. Los medios humanos y técnicos, en actuación coordinada, empleados en

su extinción y la rapidez con que éstos se pongan en marcha y acceden al foco generador del incendio.

2. La rapidez en la detección del incendio, de forma que se pueda realizar la intervención en su extinción antes de que haya alcanzado una extensión considerable de terreno.

Todo aquel método, sistema o herramienta que haga posible la mejora de la detección inmediata o la extinción de cualquier incendio tendrá cruciales beneficios ecológicos y evitará la pérdida de vidas humanas de amplio alcance y perjuicios ecosociales.

La empresa Telefónica Sistema de Satélites (TSS), perteneciente al grupo Telefónica de España, S.A., trabajó e integró un sistema completo de detección inmediata de incendios vía satélite cuyo uso pone a entera disposición de las instituciones públicas competentes.

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA VIGÍA 2000**

La estructura y configuración de este sistema permite la detección inmediata de incendios, en estado conocido como de «conato», de una extensión de 1 a 2 metros (en función de la distancia) y desde un margen de hasta 20 kilómetros, y realiza la transmisión vía satélite en tiempo real de señales de alarmas de presencia de potenciales incendios e imágenes de video de la evolución del suceso. El conjunto de estas alarmas e imágenes, recibidas de forma inmediata en un Centro de Vigilancia y Control de Incendios, permiten la rápida organización de los elementos logísticos imprescindibles para la extinción antes, de que el incendio alcance magnitudes insospechadas.

Este sistema está basado en la ubicación, en una serie de puntos estratégicos de la zona que se debe vigilar, de un conjunto de unidades de vigilancia compuestas por dos sensores motorizados y una unidad de proceso de señales, más una Estación Terrena VSAT de transmisión por satélite. En el Centro de Vigilancia y Control de Incendios se instala una Estación Central de una red VSAT, que va recibiendo las alarmas de todas las Unidades de Vigilancia y las imágenes de video generadas por éstas, y realiza la en-



*Una vista de Roma captada por la cámara de un satélite.*

trega a una Unidad de Presentación sobre cartografía digital y a un conjunto de monitores que presentan de forma gráfica la localización y evolución del incendio.

El Sistema se compone de tres partes en su configuración esencial.

### **A) Unidades de vigilancia**

Esta parte se compone de una torre de vigilancia giratoria, en la que se integra una cámara sensora de rayos infrarrojos, una cámara de video y un sistema de control de la Unidad de Vigilancia. La función de la cámara sensora de infrarrojos se centra en la detección de focos de calor más intensos que un nivel determinado predefinido, y la cámara de video se encarga de la filmación permanente de imágenes del foco de calor que la primera ha detectado.

La torre de vigilancia realiza continuos giros barriendo un ángulo de 360° en acimut y un ángulo variable en elevación, en función de las condiciones orográficas del horizonte. El alcance máximo de detección varía entre 10 y 20 kilómetros para fuegos de una extensión

de 1 a 2 metros. El tiempo en el que se refresca la información varía entre los 3 y 8 minutos, en función del ángulo de elevación y del acimut que se debe supervisar.

Desde el mismo instante en que el sistema de procesamiento da señal, a partir de los datos suministrados por la cámara de infrarrojos detecta un nivel de calor superior al umbral prefijado en una dirección determinada, y envía una alarma al Centro de Control. De forma simultánea,

la torre de vigilancia detiene su giro y la cámara de video empieza la grabación en la dirección del foco de calor, proporcionando al Centro de control imágenes reales del foco de calor.

En el armario batidor se alojan los equipos de proceso digital de las señales captadas por ambas cámaras, los equipamientos de comunicaciones procesadores del protocolo de la aplicación, y los motores que hacen girar las cámaras. Todo este conjunto de elementos se integran de forma organizada, y están concebidos para funcionar al aire libre y diseñados para ser alimentados por paneles solares.

### **B) Red VSAT de Comunicaciones por Satélite**

La extendida y útil Red VSAT (Very Small Aperture Terminals), es el medio de comunicación entre las Unidades de Vigilancia y el Centro de Control. En las unidades denominadas de Vigilancia, se realiza la instalación de una Estación Terrena VSAT (ET VSAT) equipada con una antena elipsoide de 0,95 metros de diámetro equivalente, y un transceptor de 1 W. en el foco de la elipse. Dado el bajo consumo de energía de la ET VSAT, puede ser alimentada por una red de paneles solares de pequeñas dimensiones.

La ET VSAT usada dota al sistema de un canal de comunicaciones vía satélite bidireccional a 19,2 Kbit/s entre las Unidades de Vigilancia y el Centro de Control, con suficiente capacidad para cursar señales de alarma de incendios, imágenes digitalizadas del foco de calor (a 9,6 ó 14,4 Kbit/s) e información de supervisión, control y reconfiguración de los equipos de la Unidad de Vigilancia. El satélite empleado es el HISPASAT 1A,

**«La empresa Telefónica Sistema de Satélites, perteneciente a Telefónica, trabajó en un sistema de detección automática de incendios desde el espacio»**

que proporciona unos adecuados niveles de potencia y sensibilidad sobre el conjunto del territorio español.

En el Centro de Control se encuentra una Estación Central o MiniHub,



formada por una antena parabólica de 1,8 metros y un transceptor de 1 W. que recibe las señales procedentes de las ET VSAT y las entrega, perfectamente identificadas, al Centro de Control. También realiza la transmisión, de forma ordenada e identificada, de las señales del centro de control con destino a las ET VSAT.

Todas las redes VSAT implantadas con estos sistemas son supervisadas y se muestran operativas desde el Centro de Control de Redes por Satélite (CCRS) que Telefónica Sistema de Satélite tiene en Madrid, atendido de forma permanente por personal especializado en Comunicaciones por Satélite.

El Servicio de operación y mantenimiento que hace posible la explotación de estas redes se conoce como Micronet, y forma parte de la gama de servicios de comunicaciones por satélite de Telefónica de España, S.A. Algunas de las ventajas del uso de una Red VSAT como vehículo de comunicación del sistema son las siguientes:

- Alta calidad y disponibilidad del enlace.
- Nulo impacto medioambiental (alimentación por paneles solares).

- Ausencia de interferencias y de necesidad de asignación de frecuencias.
- Control centralizado de la Red.

exacta del foco de calor, y por el otro, muestra las imágenes de video recibidas en uno o varios monitores, lo que permite dis-

## «Los centros de control terrestre reciben el caudal de imágenes que transmiten los satélites desde el espacio»

- Flexibilidad de asignación de capacidad espacial.
- Eliminación de cortes inesperados en la comunicación debidos a problemas con los enlaces de transmisión.

tinguir la naturaleza y evolución del incendio y discernir de forma rápida si se trata de un incendio real o de una falsa alarma.

### **C) Centro de Vigilancia y Extinción de Incendios (Centro de Control)**

En este Centro de Control permanece la aplicación software que recibe en tiempo real todas las alarmas y las imágenes de video, realiza un procesado y presentación, por un lado en un soporte de cartografía digital que hace posible la localización

### **UNIDADES DE VIGILANCIA**

Las Unidades de Vigilancia forman esencialmente los elementos remotos de un Sistema de Detección Automática de Incendios mediante imagen infrarroja, complementado con visión normal de la escena de interés. La Unidad de Vigilancia se divide en 4 subsistemas:

- Subsistema de sensorización.
- Subsistema de control.
- Subsistema de comunicación.
- Subsistema de supervisión y alarmas.

## SUBSISTEMA DE SENSORIZACIÓN

La parte principal componente de este subsistema está constituida por una cámara de TV de imagen infrarroja de alta sensibilidad. Se trata de una cámara de nuevo diseño, totalmente en estado sólido (sensor CCD) y de bajo consumo.

Además de la cámara, existe otra de imagen normal de alta sensibilidad (válida para el día y la noche) también en estado sólido y de bajo consumo. Las dos cámaras están solidariamente fijadas a un eje de giro, que está asociado a un decodificador de posición mediante el que se conoce en cada momento los ángulos de posición de las cámaras o, lo que es lo mismo, la dirección del eje óptico de las mismas.

El sistema de cámaras procede a un barrido continuo de un área programada por el operador. Durante este movimiento digitaliza las imágenes proporcionadas por la cámara de infrarrojos; así buscamos continuamente un foco caliente. El movimiento de las cámaras será en zigzag comenzando por el ángulo superior izquierdo del rectángulo que limita el área de barrido programada, y de arriba hacia abajo para terminar en el ángulo inferior derecho; en este punto procederá a la inversa, de abajo hacia arriba para acabar en el ángulo superior izquierdo de nuevo. El movimiento será horizontal hacia izquierda y derecha, y vertical en pasos con sentido hacia arriba o abajo según el punto de partida, como se ha señalado.

El operador de control puede pasar a modo manual cuando estime oportuno, y en ese momento deja el barrido y queda centrado en la posición en que se encontraba cuando recibió la petición.

## SUBSISTEMA DE CONTROL

Este subsistema está igualmente ubicado en la Unidad de Vigilancia. Sus funciones básicas son las siguientes:

- Control del movimiento de las cámaras y barrido de un área de detección determinada.
- Digitalización de la imagen que es ofrecida por cualquiera de las dos cámaras.

- Análisis de la imagen digitalizada de infrarrojos para la detección de focos calientes.

- Transmisión de las imágenes digitalizadas de cualquiera de las cámaras.

- Detección e indicación de alarmas.

Para la realización de todas estas funciones el sistema se comunica mediante una red VSAT a través de la que el operador tendrá la posibilidad de programar los distintos parámetros de control para la ejecución de todas las funciones descritas. A continuación, vamos a repasar de forma más detallada algunas de las funciones, alarmas, y parámetros programables, así como todos los modos de operación.

## CONFIGURACIÓN

Desde el mismo instante de la puesta en marcha del sistema, existen una serie de parámetros ligados a la instalación o a la zona de supervisión que hay que introducir como datos (configuración de inicio). Estos son los siguientes:

- *Nivel de umbral de detección.* Corresponde al valor con el que se realiza la comparación de la lectura de la imagen digitalizada para detectar un posible foco

caliente. Este valor se introduce por teclado.

- *Área de umbral para detección.* Es el área umbral donde se constata la persistencia de un foco caliente para su validación. También se introduce por teclado.

- *Topes de barrido horizontal y vertical.* Para la programación del valor de los topes horizontales y verticales, el operador coloca el cuadro de visión de la cámara en el ángulo superior izquierdo del rectángulo que delimita la zona de barrido; a continuación indica al sistema la memorización de dicha coordenada. Finalmente, se coloca el cuadro de visión de la cámara en el ángulo inferior derecho del rectángulo que acota la zona de barrido, para después señalar al sistema la memorización de la coordenada.

- *Pase de barrido vertical.* El operador de control introduce el teclado un valor indicativo del solape de imagen en vertical, que señala al sistema el paso de barrido vertical.

- *Zoom.* El operador ajusta el zoom de la cámara hasta un valor determinado y señala su programación en el sistema; esta posición será la que tomará el zoom de la cámara tras una previa colocación.

- *Foco.* El operador ajusta el foco de

«Los centros de control reciben en tiempo real las alarmas y las imágenes que toman los sensores y las cámaras instaladas en los satélites»



La isla griega de Santorini vista desde el espacio.

la cámara hasta un valor determinado y señala su programación en el sistema; esta ubicación será tomada por el foco de la cámara tras un preposicionamiento.

- *Zonas excluidas.* El operador señala al sistema el número de la zona de exclusión que se debe programar; luego coloca el centro del cuadro de visión de la cámara en el ángulo superior izquierdo del rectángulo que delimita la zona de exclusión.

- *Coordenadas reales.* El operador coloca la cámara en dos puntos cardinales distintos, indicando que tome la información tras cada ubicación.

• *Tablas de distancia.* El sistema contiene unas tablas indicativas de la distancia de cada posible foco caliente susceptible de ser detectado. Una vez localizado, un foco caliente de los parámetros de la alarma que se entrega será la distancia a ese foco, que se obtendrá a partir de las coordenadas dadas por el sistema.

## MONITORIZACIÓN Y CONTROL

El control local de cada Unidad de Vigilancia se realiza mediante un programa residente en la CPU de configuración, control y proceso. Esta CPU tiene montada una tarjeta digitalizadora en la que la imagen de video procedente de la cámara IR se digitaliza. Una vez realizada esta operación, la imagen es sometida a un proceso de análisis que determina la posibilidad de que se haya iniciado un incendio.

A la CPU de proceso le llegan los datos de posición de la cámara en simultaneidad con la imagen. La producción de una alarma de incendio actúa sobre una salida del sistema que controla una Estación Terrena de satélite. A continuación pasará a modo manual de operación, para que las cámaras de la Unidad de Vigilancia puedan ser gobernadas de forma remota por el Operador Vigilante.

El Subsistema de Control se encarga también del movimiento automático de la cámara de IR en el margen de variación angular fijado por el procedimiento de configuración (cuando ese procedimiento finaliza, el ordenador hace la transferencia de datos de variación angular correspondientes a las zonas a vigilar).

Cuando se produce una alarma de incendio, el sistema transfiere los datos de posición correspondientes a la zona donde se ha producido el incendio.

Este Subsistema está constituido en las Unidades de Vigilancia por una Estación Terrena VSAT de Comunicaciones por Satélite, de pequeño diámetro (90 cm.), que forma parte de una Red VSAT y que facilita un canal de comunicaciones por satélite con capacidad bidireccional permanente, suficiente para cursar el tráfico que se genera entre cada Unidad de Vigilancia y el Centro de Vigilancia y Control de Incendios, tanto

cuando se envían alarmas como cuando se envía señal de video digitalizada.

Cuando se acaba cada barrido este Subsistema comprueba automáticamente el correcto funcionamiento de su cámara de infrarrojos; para ello procede a la generación y detección de un foco caliente externo. En caso de anomalía dará la alarma de que la cámara de infrarrojos funciona incorrectamente, y el sistema pasará a modo manual de operación.

### • **Detección de foco caliente**

Esta alarma contiene las coordenadas reales (cartográficas) del foco caliente detectado, así como la distancia del mismo al sistema, y procederemos a actuar sobre un contador externo a la salida prevista para esta función para posible activación de un transmisor. El sistema guarda la coordenada de la última alarma que ha sido detectada, para un posible reprogramamiento posterior sobre esta zona a petición del operador.

- Alarma de generadores. Se activa si los sistemas generadores de energía no funcionan.

- Alarma de baterías. Se da un aviso si la tensión de baterías ha bajado de un determinado valor.

## OPERATIVIDAD-ALCANCE: FACTORES LIMITATIVOS

El Sistema de detección Automática de Incendios forestales VIGÍA 2000 por

**«La teledetección ofrece grandes posibilidades para la realización de progresos en el conocimiento de la naturaleza terrestre»**

Satélite, está desarrollado y fabricado para trabajar de forma continua. Debido a la independencia de las ubicaciones del punto de observación y del Centro de Vigilancia y Control, se pueden vigilar las zonas más recónditas. Es importante destacar el bajo consumo de los equipos que componen la Unidad de Vigilancia, pudiendo ser alimentados sin ningún problema por paneles solares.

Para poder obtener el mayor rendimiento posible de las elevadas prestaciones que nos ofrece el equipo de la Unidad de Vigilancia (por ejemplo, a 20 kilómetros de distancia puede llegar a la localización de un fuego de 1 metro), es fundamental la correcta ubicación de ésta. Si el punto de vigilancia no se coloca en un lugar adecuado, será la orografía la que nos limite la visión de la extensión de terreno deseada. Así, el punto de observación, normalmente, deberá estar situado en zonas de gran altura para no ver dificultada su visión por montañas o colinas vecinas y dominar mayor extensión de terreno.

## CONCLUSIONES

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.

El papel de los modelos consiste en poner de manifiesto los parámetros dominantes y en estudiar su variabilidad tanto espacial como temporal. La variabilidad

espacial de los datos de reflectancia pondrá de manifiesto los efectos de escala, y la variabilidad temporal informará sobre la evolución biológica de los seres vivos.

Para que las informaciones recogidas a través de técnicas de Teledetección sean válidas, se debe seleccionar cuidadosamente el momento óptimo para la adquisición de los datos y la combinación adecuada de bandas espectrales que mejor se adapte al objetivo perseguido.

La Teledetección es una ciencia de carácter marcadamente multidisciplinar, en la que las informaciones que aportan los distintos implicados (ingenieros, biólogos, físicos, informáticos) tienen todas su interés y ayudan a una mejor comprensión de las imágenes procedentes de sensores remotos. Por este motivo deben estrecharse mucho más las relaciones entre los investigadores de sensores remotos (aspecto físico del problema: signatu-

ras espectrales), los usuarios de sensores remotos (aspecto aplicado del problema: Interpretación de imágenes, clasificación automática supervisada) y los ingenieros de sensores remotos (fabricación y calibración de instrumentos).

La Teledetección presenta cualidades muy notables; entre ellas se pueden citar las siguientes:

1. Permite la adquisición de datos relativos al medio ambiente con una gran rapidez, poniendo a disposición de los investigadores un gran volumen de información que es susceptible de ser almacenada y analizada con posterioridad.

2. Da una visión sinóptica de los fenómenos naturales, y en el caso de la Teledetección espacial, su visión global de la cubierta terrestre pone de manifiesto las interacciones que existen entre los distintos fenómenos o sectores de actividad.

3. La repetición de las observacio-

nes permite dar un contenido dinámico a los estudios, y seguir la evolución de la ocupación del espacio y de los fenómenos que allí se operan, pues las informaciones están perfectamente localizadas y por tanto se pueden comparar en el tiempo.

4. Tiene un costo menor que los sistemas de información convencionales en zonas de la tierra de poca accesibilidad y gran extensión, como suele ocurrir en los países en vías de desarrollo.

Por otra parte, la Teledetección también tiene sus limitaciones debido a factores físicos, a la naturaleza de los fenómenos observables, a las condiciones meteorológicas, a la precisión o poder de resolución en el suelo y a la sensibilidad de los captosres.

Las plataformas aéreas y los satélites espaciales proporcionan datos de un gran valor para determinar la localización de los tipos de cubierta y los cambios que en ella se producen con el transcurso del tiempo, pero la obtención de este tipo de datos presenta ciertos problemas que es conveniente considerar.

En primer lugar existen países que presentan dificultades climatológicas para la obtención de datos LANDSAT, incluso a lo largo de toda una estación. Esta circunstancia ha orientado hacia la tecnología de radar a países tales como Brasil y Nigeria, que poseen grandes problemas concernientes al inventario de recursos naturales en extensas zonas de su territorio. Las regiones del mundo que plantean menos problemas en este aspecto son las zonas áridas y semiáridas de África, Oriente Medio y Asia.

En segundo lugar, hay razones de tipo económico que también favorecen el empleo de los datos LANDSAT en las regiones anteriormente citadas. Efectivamente, en dichas regiones existen extensas zonas con una baja productividad agrícola, en las que no se justificaría la implantación de un sistema muy sofisticado de ordenación e inventariado de recursos naturales.

En tercer lugar la utilización de imágenes procedentes de aviones y satélites espaciales siempre tiene connotaciones militares, por lo que muchos gobiernos de países en vías de desarrollo muestran sus reticencias sobre la disponibilidad de imágenes LANDSAT relativas a su territorio y al futuro desarrollo de los programas espaciales. ●

## 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, Remote Sensing Society, 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.
- Goillot, C.H., (1976), «Rapport de Synthese, C. R. Table ronde C.N.R.S.», *Ecosystems bocagers*, Rennes.
- González Alonso, F., y Cuevas Gózal, J. M., (1982), *Los satélites de recursos naturales y sus aplicaciones en el campo forestal*, Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.
- Heller, R.C., (1975), Evaluation of ERTS-1 data for forest and rangeland survey USDA for Serv. Res. Rep., PSW, Southwest For and Range, Exp. Stn, Berkeley, California, pp 112-67.
- Husson, A., (1980), «Teledetección de los incendios forestales en la región mediterránea», *Les cahiers de l'OPIT*, París.
- Jano, A.P., (1975), «Timber volume estimate with LANDSAT-1 imagery, proceedings of the workshop on Canadian forest inventory methods», University of Toronto, Ontario.
- Kalensky, Z., (1974), «ERTS thematic map from multitemate digital images 2», in Proc. Comm. VII, int. soc. Photogram. Can. Inst. Surv., Ottawa, Ontario, pp. 767-785.
- Lapietra, G. y Cellerino, G.P., (1980), «Elaborazione di immagini LANDSAT mediante il sistema ERMAN II per un inventario della Pioppicoltura italiana», *Cellulosa e Carta* 6.
- Maynard, P.T. y Strahler, A.H., (1981), «The logit classifier a general maximum likelihood applications», proceedings of the Fifteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, An Arbor, Michigan.
- 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.
- Thompson, LL., (1979), «Remote Sensing using solid state array technology», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 45.
- Townshend, J.R., (1981), «The spatial resolving power of earth resources satellites», *Progress in Physical Geography*, 5 (1).
- Tricart, J.L., (1979), «Paisaje 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.
- Swain, P.H., (1979), «A method for classifying multispectral remote sensing data using context. Proceedings of the 1979», Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed. Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- 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.