

LA TELEDETECCION SATELITAL Y LOS SISTEMAS DE PROTECCION AMBIENTAL

FRANCISCO SACRISTAN ROMERO ¹

Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

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 intentaré 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 /

¹Doctor en Ciencias de la Información por la Universidad Complutense de Madrid. Licenciado en Ciencias de la Información, Licenciado en Psicología y Licenciado en Derecho. Especialista en Electrónica de las Comunicaciones. Profesor Titular del Departamento de Historia de la Comunicación Social de la Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Complutense de Madrid.

1. INTRODUCCION

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 planteado 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 suministrada 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:

- Detectar y controlar la contaminación de los ríos y acuíferos, con carácter preventivo.
- Cumplir y hacer cumplir las Directivas de la Unión Europea sobre la calidad de las aguas.
- 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.
- Protección de vertidos indeseados las 24 horas del día respecto de determinados empleos específicos, sobre todo los abastecimientos a núcleos de población.
- 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.
- 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.

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.

2. LA FUNCION DE LA TELEDETECCION 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 captores, 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.

2.1. 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 (Multiespectral 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.

2.2. 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):

- Una información espacial que representa la organización en el espacio físico de los elementos que constituyen la imagen.
- Una información espectral que caracteriza y puede conducir al conocimiento de la naturaleza de la superficie terrestre.
- 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 **píxel** (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 de 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 **píxel** 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):

- 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.
- 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.
- 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 estrés debido a la falta de agua, transpiración, régimen térmico, etc.).
- 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.

2.3. 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.

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 posea 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.

3. METODOS DE TRATAMIENTO PARA LA EXTRACCION DE INFORMACION DE LOS DATOS DE TELEDETECCION

El lanzamiento del satélite LANDSAT 1 en 1972 inauguró una nueva era para los estudios del medio ambiente, proporcionando 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 **píxel a píxel** 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 mapificación 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).

3.2. 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:

- Validez de las clases espectrales, construidas en la fase de entrenamiento de los clasificadores, para representar a las clases informacionales que se quieren reconocer.
- 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.

3.3. 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.

3.3.1. 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:

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.

La superposición o integración de las imágenes previamente a la clasificación reduce generalmente los errores de clasificación en ambos sentidos.

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).

3.3.2. 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 **píxel a píxel**, 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 **píxel** 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 **píxel** 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.

4. INTEGRACION DE INFORMACION DE TELEDETECCION EN BASES DE DATOS MEDIOAMBIENTALES

La amplia gama de sistemas de Teledetección existentes (películas sensibles, radiómetros, radares, etc.) y las diversas plataformas desde donde actúan (globos, aviones, satélites, etc.) constituyen un avanzado sistema integrado de informaciones de gran apoyo logístico y científico para el estudio del medio natural en diferentes niveles, tales como usos del suelo, costas, bosques, recursos acuáticos, cuestiones biofísicas, paisaje, calidad de los distintos nichos ecológicos animales y humanos, impacto de grandes obras públicas civiles, catástrofes naturales, etc.

El conjunto de los datos obtenidos vía Teledetección tienen una naturaleza geográfica, física y radiométrica y, en consecuencia, distinta de las informaciones recogidas por los métodos convencionales. La información de Teledetección es repetitiva, global y sintética, pues toma en consideración de forma simultánea un elevado número de variables relativas al medio ambiente.

Cada administración, ya sea local, regional autónoma o estatal, recoge informaciones sobre el medio ambiente y realiza un archivado y almacenamiento en bancos de datos geográficos, a menudo incompatibles unos con otros. La Teledetección, que debe apoyarse en datos complementarios de verdad terreno para la producción de informaciones válidas, tiene pocas posibilidades para desarrollarse normalmente si este contexto no cambia.

Para superar estas trabas es básico que los datos relativos al medio ambiente puedan circular con fluidez de una institución a otra, esencialmente a través de las avanzadas tecnologías electrónicas e informáticas.

La Teledetección completa los sistemas de información tradicionales, y además permite la posibilidad de incluir los límites administrativos convencionales o geográficos en los resultados derivados de su análisis e interpretación. De esta forma, se puede disponer de documentos adaptados a las necesidades de los planificadores y gestores de los recursos naturales.

Como es lógico deducir, para que esta herramienta de recolección de datos relativa al medio ambiente sea tan eficiente como su potencial deja entrever, es necesaria la transferencia y la integración de los métodos tradicionales de gestión de las informaciones medioambientales en los sistemas de información ya existentes.

Este proceso es fundamental para la conveniente actualización de los inventarios de recursos naturales, y para llevar una contabilidad adecuada en términos físicos, detectando los cambios que se vayan produciendo en el transcurso del tiempo sobre el recurso en cuestión.

Un sistema integrado de información geográfica debe estar complementado en un ordenador (generalmente de gran capacidad de almacenamiento en disco), y debe poseer un soporte lógico suficiente (software) que le permita almacenar, manipular y recuperar la información localizada geográficamente.

Los sensores son una fuente muy importante para los sistemas de información geográfica, y éstos a su vez proporcionan un uso y diseminación de aquellos más eficientes.

4.1. Los modelos de paisaje

La denominación de "modelos de paisaje" se refiere a la integración de los datos de sensores remotos en un sistema de información geográfico (SIG). Esta combinación sinérgica produce un banco de datos multivariantes y multitemporales que posibilitan una configuración matemática del paisaje, de la misma forma que un modelo en tres dimensiones del terreno se representa por un mapa topográfico.

El uso de una base de datos geográficos puede mejorar los resultados de las clasificaciones automáticas realizadas con datos de Teledetección, al incorporarse a modo de nuevas variables espectrales.

De forma recíproca, la utilización de datos espectrales puede proporcionar ventajas en aquellos problemas referentes a la mapeación de tipos de cubierta del suelo y en los modelos de planificación física del territorio. Se han desarrollado técnicas de proceso automático que combinan los datos LANDSAT con información de tipo geográfico-altitud, pendiente, exposición, insolación, etc., con el objetivo, por ejemplo, de obtener mapeaciones más precisas de las especies forestales en áreas de montaña.

En un trabajo minucioso realizado por Fleming M. y Hoffer R. sobre una región abrupta de las Montañas Rocosas en Estados Unidos, con el objetivo de estudiar los tipos de cubierta forestal se llegó a las siguientes conclusiones (Fleming y Hoffer, 1979: 377-390):

1. La elaboración de un modelo de distribución topográfica de las especies proporciona una descripción cuantitativa estadísticamente significativa. Además, este modelo proporciona una descripción espectral más detallada de los tipos de vegetación, porque considera la variabilidad de las condiciones ecológicas. Esta técnica permite la reducción notable de los tiempos de cálculo precisos para el entrenamiento de los clasificadores.
2. El uso de datos geográficos conjuntamente con datos espectrales, mejora significativamente el porcentaje de clasificación correcta de las clases de cubierta forestal, con respecto a los resultados obtenidos usando exclusivamente los datos espectrales.
3. El empleo de la altitud conjuntamente con los datos espectrales, proporciona una mejora en la precisión de los clasificadores del 15%, aproximadamente. Los datos de sensores remotos procedentes de satélites espaciales, son una fuente importante de información para la gestión y toma de decisiones dentro del sector agrícola y forestal como lo son las fotografías aéreas.

Es esencial prestar mucha más atención a las técnicas de Teledetección que se manifiestan útiles y eficaces para la gestión forestal en el ámbito geográfico local, dado que las decisiones locales pueden ser más importantes que los resultados de una planificación genérica a pequeña escala realizada más en términos burocráticos.

La evolución experimentada por la Teledetección desde las plataformas aéreas hasta los satélites espaciales es un paso muy significativo respecto de la creación de una base de datos de recursos terrestres más completa que la existente hoy en día. Para conseguir este objetivo, es imprescindible resolver muchos problemas relativos a la continuidad en la adquisición de los datos, su oportunidad y adaptación a las necesidades actuales, costo, etc.

5. APLICACIONES OPERACIONALES DE LA TELEDETECCION

El amplio conjunto de imágenes obtenidas desde plataformas aéreas y espaciales, permite la obtención de informaciones acerca de las circunstancias ecológicas y socioeconómicas de la superficie terrestre.

Esta información debe ser correctamente localizada geográficamente (información normalmente ausente en las imágenes de Teledetección), y además es necesario tomar en consideración una cierta información temática complementaria. Los sensores remotos proporcionan imágenes con una distorsión espacial despreciable que se pueden emplear para estudiar y comparar áreas, siempre que la resolución del satélite permita la identificación del fenómeno temático en cuestión.

Atendiendo a los datos aportados por Allan, la Teledetección a partir de las imágenes de satélite no tiene restricciones en las zonas mediterráneas desde el punto de vista de la resolución, del medio ambiente y del costo, para la mapeación de grandes áreas en escalas comprendidas entre 1/100.000 y 1/250.000, debido esencialmente a que se trata de áreas libres de nubes durante muchos días al año (Allan, 1977).

En esta zona del Mediterráneo, Van Genderen ha realizado clasificaciones de usos de la tierra, basado en imágenes LANDSAT (Van Genderen y Lock, 1976) en el sudeste de España (Murcia) y Cole analizó los problemas que planteaba la resolución de los sensores en áreas del oeste de España, como la región de Extremadura (Cole, 1974: 243-398).

Los datos que los sensores remotos proporcionan son especialmente necesarios en aquellas partes del mundo donde el inventario y seguimiento de los cultivos y la vegetación natural, es inadecuado para una planificación racional de los usos de la tierra y los recursos naturales. Aunque las aplicaciones más apropiadas de los satélites parecen ser que deben localizarse en los países semiáridos en vías de desarrollo, los estudios más profundos y completos relativos a este tipo de imágenes se han desarrollado en los Estados Unidos en aplicaciones referentes a problemas agrarios, forestales y de usos de la tierra cultivable y no cultivable.

5.1. Proyecto LACIE

Uno de los primeros proyectos de carácter internacional de más reconocido prestigio y profundamente elaborado que se ha desarrollado hasta la fecha, es el proyecto norteamericano LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment), cuya meta consistió en la evaluación de la producción anual de trigo en los Estados Unidos, la desaparecida Unión Soviética, Sudamérica e India, sobre la base de la información adquirida a través del LANDSAT.

En lo concerniente a los Estados Unidos, se obtuvieron estimaciones de la producción de trigo con un 90% de precisión respecto de los métodos de estimación convencionales. En la ex Unión Soviética los resultados no pudieron contrastarse, y en la India la abundante fragmentación de los cultivos en parcelas impidió la realización de estimaciones estadísticas fiables.

5.2. Sistema EDITOR

Desde 1975, el E.S.C.S. (Economics Statistics and Cooperatives Service) del USDA (U.S. Department of Agriculture) realiza trabajos de estimación en las zonas cultivadas empleando el sistema informático EDITOR. Este sistema usa datos de los satélites LANDSAT 2 y LANDSAT 3, junto con información procedente de encuestas realizadas por entrevistadores del USDA en ciertas zonas de muestreo.

El método estadístico utilizado se basa en un estimador de regresión, en lugar de usar un estimador de expansión directa como se hace en las estadísticas convencionales. Las estimaciones se han realizado en el ámbito de Estado, de Distrito (conjunto de Condados) y de Condado.

En el estudio de Estado y de Distrito, las estimaciones realizadas usando datos LANDSAT y encuestas de forma combinada, son bastante más precisas que las estimaciones convencionales realizadas por expansión directa a partir de los datos de las encuestas (se han llegado a conseguir estimaciones trece veces más exactas).

Los Estados analizados a partir del sistema EDITOR han sido: Illinois (maíz y soja); Kansas (trigo); Iowa (maíz y soja) y Arizona (algodón y alfalfa).

5.3. Programa AGRISTARS

Dentro de los programas de investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se ha destacado el denominado AGRISTARS (Agriculture and Resource Inventory Surveys Aerospace Remote Sensing), diseñado para la evaluación y valoración de las aplicaciones de la tecnología aeroespacial en los campos agrícola y forestal.

Los objetivos concretos de AGRISTARS incluyen el desarrollo, comprobación y evaluación de los procedimientos necesarios para la adopción de la tecnología espacial de sensores remotos, de cara a:

- Mejorar la capacidad del USDA para la obtención rápida de una información eficaz sobre los cambios producidos en las condiciones de cultivos.
- Disponer de predicciones más objetivas y exactas sobre la producción de los grandes cultivos.

- Mejorar el inventario y valoración de los recursos naturales.
- Valoración del costo de viabilidad y oportunidad de integrar los datos de Teledetección en las bases de datos existentes.

Para conseguir los objetivos propuestos por AGRISTARS se han definido proyectos específicos cuya misión es mejorar la información del USDA sobre las siguientes cuestiones:

1. Valoración rápida de cosechas.
2. Pronósticos sobre la producción de los cultivos en el extranjero.
3. Desarrollo de modelos de rendimiento de cultivos.
4. Cultivos autóctonos.
5. Contenido en humedad del suelo.
6. Inventario de recursos naturales.
7. Conservación del medio ambiente y contaminación.
8. Investigación de apoyo.

5.4. Proyecto MIMPT

Otro gran proyecto de investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos fue el denominado M.I.M.P.T. (Multiresource Inventory Methods Pilot Test) cuya meta principal fue comprobar, evaluar y transferir la nueva tecnología de sensores remotos (basada fundamentalmente en los satélites) al Servicio Forestal (Forest Service), para de esta forma mejorar los inventarios de recursos naturales y la gestión de las tierras en los procesos de planificación.

Este objetivo de tipo general se podría concretar en el desarrollo y comprobación de un sistema de información que permitiese realizar clasificaciones óptimas del territorio basadas en las siguientes informaciones:

- 1) Una verdad terreno constituida por:
 - a). Variables continuas.
 - b). Variables discretas.
- 2) Datos de Teledetección que posean:
 - a). Variabilidad estacional.
 - b). Diversidad espectral.
 - c). Diversidad textural.
 - d). Cambios espaciales.
 - e). Variabilidad anual.
- 3) Una base de datos que incluya:
 - a). Límites administrativos.
 - b). Cartografía de tipos de suelo.
 - c). Cartografía de usos de la tierra.
 - d). Cartografía de tipos de vegetación.
- 4) Un modelo topográfico del terreno.
- 5) Datos meteorológicos.

6. APLICACIONES DE LA TELEDETECCION AL CONTROL DE RESIDUOS

6.1. Tecnologías energéticas

Estas tecnologías que parten de las técnicas de teledetección pretenden mejorar la seguridad energética asegurando servicios energéticos fiables y duraderos a un coste y condiciones razonables; reducir el consumo energético y estimular la penetración en el mercado de innovadoras tecnologías eficientes y limpias y mejorar el impacto del uso de energía en el medio ambiente. Desgrano a continuación algunos de los usos más comunes en el campo físico-químico:

- Baterías y pilas de combustible

Las pilas de combustible generan electricidad con alta eficiencia y con emisiones contaminantes significativamente bajas comparado con las tecnologías convencionales, pero actualmente son demasiado caras. Por ello, el primer objetivo en que se centra la aplicación de la Teledetección en este campo es la reducción del coste de las pilas de combustible y el desarrollo de sistemas simples y baratos para su rápida comercialización para el transporte y para la producción descentralizada de energía y calor combinado. Se da especial énfasis a las pilas de combustible de polímero sólido (SPFC) a baja temperatura para alcanzar un coste de la pila competitivo, tanto para aplicaciones estacionarias como de transporte. Las pilas de combustible de carbonato fundido (MCFC) y las de óxido sólido (SOFC) se utilizarán para entregar calor mediante residuos a alta temperatura para cogeneración y para producción de electricidad en ciclos combinados.

- Definición e implantación de plantas de demostración de nuevas fuentes energéticas no nucleares

En el campo de la energía solar fotovoltaica la teledetección se aplica para implantar sistemas fotovoltaicos conectados a la red tanto integrados en edificios como montados en otras estructuras que no sean edificios y sistemas fotovoltaicos y fotovoltaicos híbridos que no están conectados a la red.

En el caso de la energía eólica se buscan instalaciones que reduzcan aún más el coste de la electricidad generada por el viento, persiguiendo un enfoque global para integrar todos los progresos logrados en el sistema de potencia eólica completo y la optimización de todos los componentes de la planta. Se dará prioridad al decremento tanto de los costes de inversión (Kw de potencia eólica instalados) como de los costes de producción (costes de operación y mantenimiento). Las plantas de demostración incluyen:

- Instalaciones mejorando la aceptabilidad del público hacia la energía eólica, introduciendo tecnologías para reducción del impacto medioambiental.
- Adaptación de las plantas de potencia eólica en regiones de alto potencial eólico que no han sido aún explotadas debido a su ubicación no convencional (mar adentro, terrenos complejos, condiciones climáticas extremas y regiones de bajo potencial eólico).
- Sistemas de potencia eólica fiables y flexibles, gestionando la integración de las plantas eólicas a la red.
- Instalaciones de turbinas eólicas de tamaño de megavatios.

En lo que se refiere a energía a partir de biomasa y residuos se desarrollan proyectos integrados para la producción de calor y para la cogeneración de calor y potencia.

En cuanto a la instalación de plantas hidroeléctricas se desarrollan las siguientes actividades, provenientes de la aplicación de las técnicas satelitales de la Teledetección:

- Explotación de un amplio rango de sitios para la construcción de pequeñas plantas hidroeléctricas que incrementen la capacidad hidroeléctrica total en la Unión Europea.
- Implementación de pequeñas plantas hidroeléctricas eficientes, simples y de bajo coste en regiones menos desarrolladas.
- Aumento de la potencia de régimen y renovación de sitios desarrollados previamente o plantas existentes para proporcionar capacidad eléctrica adicional.

También se instalarán plantas de electricidad térmica solar en cooperación con otros servicios eléctricos (solar-gas)

- Tecnologías y equipos para calefacción, refrigeración e iluminación a escala urbana

En el caso de la iluminación interesa, sobre todo, conseguir sistemas de iluminación (lámparas y reactores (alumbrado fluorescente) y controles (sensores, reguladores de luz) más eficientes.

En lo que se refiere a equipos de calefacción, las aplicaciones de la Teledetección se centran en la investigación de nuevos sistemas solares de calentamiento del aire; bombas caloríficas limpias y eficientes; calderas de condensación y de baja temperatura y hornos de combustión con bajas emisiones de NOx.

Las tecnologías de refrigeración de mayor interés serán aquellas que permitan sustituir CFCs e incluso HCFs en equipos de refrigeración; sistemas de refrigeración centralizados y ventiladores y bombas de velocidad variable.

- Mejora de los procesos de transmisión, distribución y almacenamiento de energía

La Teledetección es en este apartado donde más eficiencia ha adquirido, aplicándose sus avances en :

- Nuevos métodos para la instalación de líneas de potencia, incluyendo sistemas de transmisión AC, sistemas de gestión de redes, fiabilidad de equipos y electrónica de potencia.
- Cables superconductores, si se alcanza el nivel precomercial, orientados a facilitar el control del transporte y distribución de electricidad.
- Conceptos de transformadores avanzados.
- Mejoras de los conceptos de almacenamiento de energía actuales, tales como baterías, bombas de almacenamiento hidroeléctricas, o volantes (de motor).
- Mejora de los sistemas de interconexión de redes eléctricas existentes, con el fin de estabilizar la red y optimizar la potencia reactiva.

- Uso racional de la energía mejorando la eficiencia energética y los costes

Se considera tanto el uso racional de la energía en edificios como en la industria y en los transportes.

En el caso de los edificios se persigue el uso racional y eficiente de combustibles fósiles y electricidad, sistemas libres de CFC, edificios inteligentes, calidad del aire acondicionado, diseños de baja energía, materiales y componentes optimizados y gestión de carga integrada para calefacción, refrigeración y consumo eléctrico.

En la industria se busca reducir el consumo de energía y la contaminación medioambiental de los procesos industriales, incluyendo reciclado de materiales, ahorro de recursos acuáticos y ahorro de materias primas.

En el transporte se logran tecnologías más limpias, óptimas y efectivas en función de los costes, así como tecnologías de vehículos eficientes energéticamente y de contaminación cero o baja, incluyendo simulación, integración y prueba de sistemas de vehículos híbridos y eléctricos, dispositivos convertidores y de almacenamiento de energía auxiliar y sistemas de batería avanzados.

6.2. Tecnologías medioambientales en el control de residuos rurales y urbanos

Las técnicas satelitales de la Teledetección intentan proteger y rehabilitar el medio ambiente eliminando o mitigando los problemas medioambientales prioritarios mediante soluciones integradas de amplio rango y aplicabilidad general. Los principios de "prevención de la contaminación" y "minimización de desperdicios" y el uso de herramientas como la evaluación del ciclo de vida, proporcionan tecnologías medio ambientales sostenibles y permitirán planificar los futuros desarrollos industriales. Enumero a continuación algunas de estas tecnologías que llevan incorporados procesos desarrollados por la Teledetección:

- Detección y prevención de la contaminación. Sensores

Entre las técnicas desarrolladas por la Teledetección para prevenir o minimizar el impacto de los productos y procesos en el medio ambiente se encuentran el control de los procesos en línea, el

desarrollo de sistemas de bucle cerrado, el reciclado de materiales durante los procesos, el procesado de aguas y disolventes, el reemplazo de sustancias tóxicas y peligrosas y la durabilidad y reciclabilidad de productos, dándose prioridad al desarrollo de tecnologías limpias.

Se utilizan nuevos métodos de detección cuando los convencionales resulten insuficientes desde el punto de vista de la sensibilidad, selectividad, precisión, preparación de muestras, control en línea o rentabilidad. Así nos encontramos con nuevas aplicaciones de la teledetección a problemas medioambientales y con técnicas de detección rápida de variables de interés ambiental como son la determinación de compuestos traza y el desarrollo de sensores capaces de medir nuevos parámetros de relevancia ambiental.

También se procede a la disminución de la capacidad contaminante de los procesos industriales mediante la modificación del propio proceso o la sustitución de materias primas.

- Tecnologías de eliminación integrada de emisiones

Se aplican a la prevención y reducción de gases y partículas emitidas al aire, así como para prevenir o retener cenizas, hollines y compuestos orgánicos derivados de las actividades industriales. También se considera la minimización de emisiones de sustancias tóxicas o peligrosas originadas por el tratamiento térmico de basuras y los métodos que disminuyan la contaminación producida por el sector de transportes. Se incluyen tanto emisiones a la atmósfera como al suelo, tierra y aguas superficiales, y se busca la minimización tanto de emisiones sólidas como líquidas y gaseosas al medio ambiente, dándose prioridad a la eliminación integrada de emisiones industriales.

En el campo del tratamiento de aguas residuales se da prioridad a la eliminación de sustancias no degradables biológicamente originadas en los procesos industriales.

Se persigue convertir las tecnologías end-of-pipe en tecnologías integradas en los procesos, salvo en aquellas áreas donde las tecnologías end-of-pipe sean superiores a las tecnologías limpias, tanto económica como medioambientalmente, centrándose en este caso la investigación en lograr minimizar la contaminación desde las fuentes estacionarias.

- Tecnologías de reciclado

En esta categoría se incluye reciclado (tanto en bucle cerrado como abierto), reutilización de residuos y procesado, destacando las tecnologías para la revalorización de subproductos, residuos o productos al final de su vida útil; las tecnologías de reciclado de plásticos ya consumidos y de materiales compuestos, con especial énfasis en la caracterización e identificación de materiales, clasificación y reciclado mecánico; la recuperación de sustancias utilizables a partir de residuos industriales tóxicos o peligrosos y de los productos ya consumidos.

- Tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos

Las aplicaciones se dirigen a la caracterización, gestión y control de residuos industriales, prevención de desperdicios, minimización y tratamiento de residuos relevantes para la industria incluyendo detoxificación o reciclado de residuos químicos y otros residuos tóxicos o peligrosos, tratamiento específico de residuos antes de su deposición, tales como solidificación y procesos biotecnológicos, almacenamiento controlado, codeposición, oxidación y degradación.

- Rehabilitación de sitios contaminados

Se incluyen innovadores métodos para localizar y medir contaminantes en suelos contaminados industrialmente y en sitios de deposición de basuras abandonados y métodos para evaluar el potencial de biorremediación de sitios contaminados, dándose alta prioridad al tratamiento de los suelos contaminados y al desarrollo de técnicas in situ que contribuyan a la rehabilitación de los mismos, tales como procesos de desorción térmica, arrastre con vacío o con vapor, biodegradaciones o extracción en condiciones supercríticas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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 Gózaló, 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. Rap., 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 multirate digital images 2", in Proc. Comm. VII, int. soc. Photogram, Can. Inst. Surv., Ottawa, Ontario, pp. 767-785.
- Lapietra, G. y Cellierino, 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. Processings 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.

Copyright of Revista Ingeniería Industrial is the property of Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad del Bío-Bío and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.