

PERCEPCION REMOTA: NUEVA TECNOLOGIA DE CONTROL AMBIENTAL (*)

Por GERMAN LOPEZ DE LEMOS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

El creciente interés despertado en España hacia las técnicas de percepción remota promete su feliz aplicación a la ingeniería civil en los próximos años. La carencia casi absoluta de bibliografía en lengua española sobre el tema, me ha movido a escribir este artículo, que es síntesis de un trabajo a publicar en breve por el Instituto Geográfico y Catastral.

Introducción.

Asistimos hoy, en un momento de aceleración histórica y progreso jamás igualados, al nacimiento de una nueva tecnología que permite controlar los recursos naturales y el medio ambiente de nuestro planeta; se llama Percepción Remota, y está afectando directa y favorablemente a las actividades humanas, económicas e industriales de los pueblos de todo el mundo.

Las reservas actuales de metales, carburantes y recursos renovables como el agua, pueden quedar agotadas en el futuro sin una planificación adecuada. Si queremos que la calidad de la vida humana no disminuya generación tras generación, debemos encontrar un camino para vivir en armonía con el mundo físico que habitamos, equilibrando nuestras necesidades de desarrollo con la capacidad a largo plazo de la tierra para satisfacerlas.

La planificación de recursos es inútil sin el previo conocimiento de éstos y, por el contrario, su control a escala mundial permitirá una explotación racional de las reservas existentes mientras haya vida humana sobre el planeta. La percepción remota es la tecnología que permitirá en el futuro adquirir los conocimientos necesarios para una planificación territorial y conservación adecuada de nuestros recursos ambientales.

La percepción remota de recursos naturales.

De una manera general, se llama Percepción Remota a la detección de la naturaleza y

propiedades de un objeto sin contacto físico con el mismo. En definitiva, el hombre viene realizando percepción remota desde siempre, utilizando tres de sus cinco sentidos para adquirir conocimientos del mundo exterior a distancia: la vista, el oído y el olfato. Actualmente, la definición comprende únicamente la percepción a distancia utilizando radiaciones electromagnéticas como único medio de información, excluyendo otras técnicas permitidas por la física (ondas sonoras, campos eléctricos, magnéticos o gravitatorios y partículas). Además, la terminología no se aplica más que a la percepción de recursos naturales, suministrando información periódica sobre la localización, extensión y condición de los bosques, reservas de agua, suelos, etc., así como de las actividades humanas. Esta información periódica proporciona un control eficaz del entorno ecológico a muy diferentes niveles: industrial, urbano, regional, nacional y mundial.

Sabido es que cada cuerpo absorbe, refleja y emite energía electromagnética en diferentes frecuencias, según una señal característica de sus propiedades físicas y químicas, cuando su temperatura es superior al cero absoluto. La presencia de la radiación es percibida mediante el empleo de detectores o sensores que la captan a distancia y obtienen una información del territorio cuyo análisis permite establecer "huellas" electromagnéticas distintas para cada objeto en el espacio y en el tiempo. Los sensores detectan las radiaciones comprendidas entre las regiones espectrales del ultravioleta y las microondas, complementando las restringidas posibilidades del ojo humano, que se li-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de marzo de 1975.

mita a percibir energía en la pequeña región visible del espectro electromagnético.

A finales de la segunda guerra mundial, los sensores remotos se desarrollaron para misiones de reconocimiento aéreo y militar y, sólo muy recientemente han sido utilizados con fi-

las ondas. La atmósfera está constituida por gases y partículas que difunden la radiación ("scattering") según leyes que dependen de las dimensiones de las partículas en relación con la frecuencia de las ondas. En síntesis, se puede decir que la atmósfera es transparente

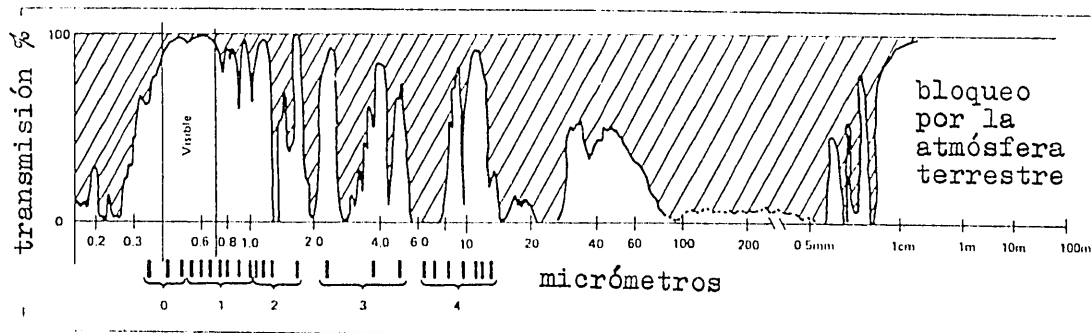


Fig. 1.—Regiones espectrales de transparencia atmosférica a las ondas electromagnéticas.

nes civiles por sus múltiples aplicaciones a la cartografía temática, investigaciones pesqueras y topografía de fondos marinos, localización de efluentes y vertidos industriales, trazado de mapas geotérmicos, fotogeología y detección de yacimientos minerales, urbanismo, control de la contaminación y valoración del impacto ambiental de las obras civiles, inventarios forestales, etc.

Las fuentes de radiación electromagnética que emplea esta tecnología son naturales (el Sol, la Tierra u otros cuerpos celestes) o artificiales (láser y radar). El conocimiento de las interacciones entre materia y radiación; es decir, el estudio de la reflexión, absorción, emisión, difusión y polarización de la energía electromagnética, depende de las perturbaciones que produce la atmósfera al ser atravesada por

en tres regiones espectrales principales: del ultravioleta al infrarrojo próximo, en el infrarrojo medio y en la región de las hiperfrecuencias (fig. 1). Hay que señalar, en particular, que la atmósfera es transparente en las bandas de emisión del Sol y la Tierra, fenómeno que hace posible la percepción remota.

Los sensores.

La percepción remota de recursos naturales requiere de unos vehículos que coloquen los sensores a una distancia suficiente de la superficie en examen para detectar la información deseada. Las características de estos vehículos son, evidentemente, muy diferentes (tabla 1). Un sistema operativo integrado de per-

TABLA 1.—Plataformas de percepción remota.

Plataforma	Altura operativa	Autonomía	Tiempo operativo	Carga útil
Avión	Menos de 20 km.	4.000 km.	5-8 horas.	5.000 kg.
Globo	20-50 km.	4.000 km.	24 h.-30 d.	100-2.000 kg.
Cohete sonda	40-2.000 km.	5-500 km.	1 min.-5 h.	1-200 kg.
Satélite terrestre	200-40.000 km.	Global.	Indefinido.	10-30.000 kg.

cepción remota comprende un conjunto de plataformas espaciales, aéreas y sistemas terrestres o marítimos, siendo todos ellos complementarios por razones técnicas y económicas. Un sistema integrado requiere, además, de técnicas automáticas de tratamiento de la información y de unos modelos de decisión que hagan aplicables a la observación de recursos los datos obtenidos por sensores remotos.

Tanto los sistemas terrestres y marítimos como los vuelos aéreos han sido utilizados con profusión en las últimas décadas, pero sólo el progreso de las nuevas técnicas de percepción remota ha permitido, en los últimos años, la incorporación a los satélites y laboratorios espaciales de sensores aptos para la observación de recursos naturales. Mediante análisis de laboratorio y trabajos de campo en zonas piloto, vuelos aéreos a baja, media y gran altura, y eventualmente desde satélite, es posible la experimentación controlada sobre distribución espectral, espacial y temporal de los parámetros que mejor definen un fenómeno natural.

Los sensores remotos se dividen en activos y pasivos, según que aporten energía electromagnética y detecten el eco devuelto por el objetivo, o bien reciban la radiación natural y reflejada por el Sol y la Tierra.

El sensor más primitivo y todavía hoy más empleado es la cámara fotográfica, que permite reconocer la configuración, tamaño y posición de los objetos en la región visible del espectro, para longitudes de onda comprendidas entre el ultravioleta e infrarrojo. La principal dificultad de su empleo reside en que la densidad en blanco y negro o en colores de la película depende, no sólo de la energía reflejada por el paisaje, sino también de un conjunto de parámetros no siempre fáciles de determinar: abertura de diafragma, tiempo de exposición, temperatura del baño de revelado, etcétera. Aunque la imagen obtenida es cómoda de observar, no es una representación cuantitativa de la energía procedente del objetivo. Por ello, son más útiles otros sensores, que operan en la misma o en distintas frecuencias.

Cámaras de televisión.

En estos sensores pasivos, la imagen óptica proyectada por una lente, se forma por lí-

neas en el tubo detector (Orthicon, Vidicon, Irticon, etc.) según la dirección de llegada de la radiación UV, visible e IR y es transformada en corriente eléctrica, que se envía a amplificadores en secuencias de tiempo. Las cámaras TV operan a gran velocidad y autorizan el registro de la señal analógica en cinta magnética, o su transmisión a distancia por telemetría; siendo prácticamente ilimitado el número de escenas que detectan estos sensores.

Desde 1960, unas 100 cámaras de televisión han sido empleadas desde el espacio en programas de la NASA. Su mayor utilidad estriba en la obtención y transmisión en tiempo real de imágenes tomadas por astronautas en misiones tripuladas o desde satélites de observación de recursos naturales.

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos ha divulgado recientemente información sobre varios sensores tácticos de observación nocturna que fueran utilizados por las fuerzas norteamericanas en Vietnam. Estos ingenios, acoplados ópticamente a tubos de televisión, llegan a amplificar la iluminación de una imagen hasta 75.000 veces y su aplicación futura al reconocimiento de recursos desde satélite, sirviéndose de las estrellas como fuente de luz, será un hecho en cuanto resulten compatibles con el poco peso de los sistemas TV espaciales.

Equipos de barrido multiespectral.

Los barredores multiespectrales ("Multispectral Scanners", MSS) recogen simultáneamente información emitida o reflejada por el terreno en varias bandas del espectro visible e infrarrojo. Para ello, llevan un sistema óptico-mecánico de espejo giratorio, que hace un barrido del objetivo en líneas perpendiculares a la trayectoria del vehículo, y prismas de dispersión, que envían la radiación multiespectral a unos detectores para su conversión en señales video y amplificación. Estos sensores dan una alta resolución espacial a las escenas que detectan y, tras la transformación analógica a digital, registran la información en cinta magnética para su posterior tratamiento en ordenador.

El equipo de barrido óptico-mecánico puede llevar dispositivos fotográficos para almacenar la información en infrarrojo (fig. 2), obte-

niéndose así termogramas del terreno, cuyas variaciones de densidad en las películas son proporcionales a la radiación recibida por el detector y dan el grado de temperatura super-

un día a otro, unidos a la dificultad de distinguir la radiación natural del terreno y la que es reflejo de luz solar, dan lugar a unos resultados poco uniformes. Sin embargo, estos sen-

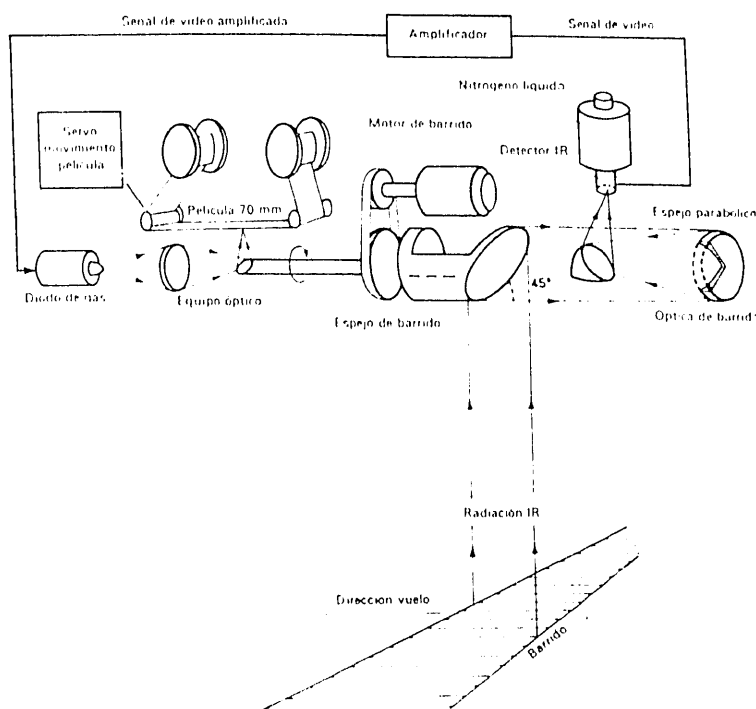


Fig. 2.—Equipo termográfico de barrido con dispositivo de registro sobre película fotográfica.

ficial aparente. En los levantamientos termográficos es aconsejable realizar vuelos varias veces al día y a distintas horas, con el fin de obtener la máxima información posible. Los cambios de temperatura, de hora en hora y de

sores recogen información no visible al ojo humano (fig. 3) y suministran datos de gran valor para estudios de medio ambiente y contaminación, así como para la elaboración de mapas geotérmicos.

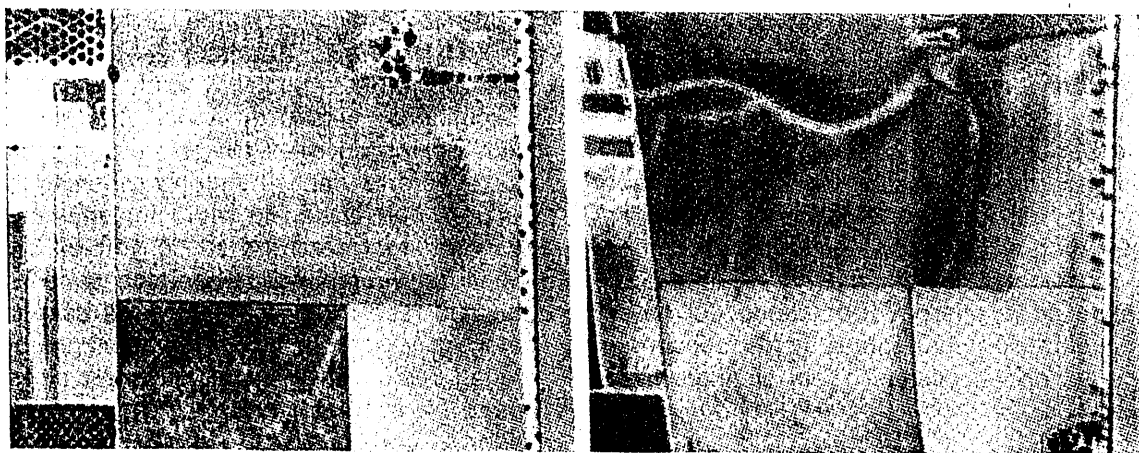


Fig. 3.—Fotografía pancromática e imagen en infrarrojo térmico (derecha). Esta última muestra fenómenos de humedad en el suelo, no detectables con el cliché correspondiente a la región visible del espectro ($0.4 - 0.7 \mu$).

Radars laterales.

Los radares laterales ("Side-Looking Airborne Radar"-SLAR) se desarrollaron en su origen con fines militares y han sido aplicados recientemente a usos civiles. Son sensores re-

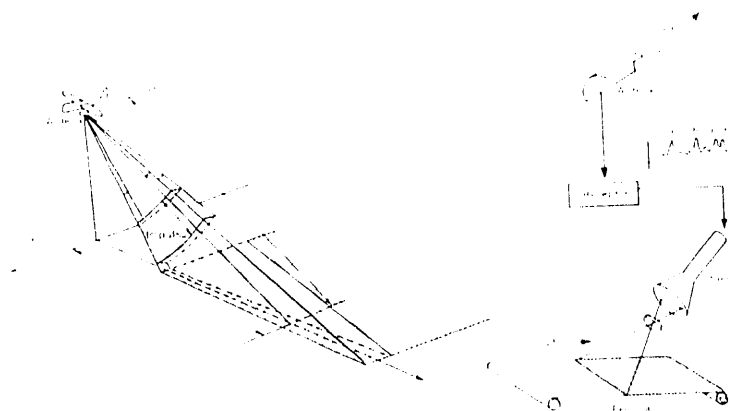


Fig. 4.—Esquema operativo del SLAR.

motos activos que operan en la región de las microondas, emitiendo impulsos de energía por una antena adosada al costado del avión (figura 4). Los ecos devueltos por el objetivo son procesados y registrados en película o digitalmente, midiendo propiedades dieléctricas de los materiales (función del contenido de agua y sales en rocas y suelos, etc.) y la rugosidad (función de la granularidad, declive, etc.).

SLAR es un sistema capaz de proporcionar imágenes nocturnas, sin iluminación natural y en cualesquiera condiciones meteorológicas, pues efectúa su propia iluminación del terreno en haces de microondas que penetran las nubes.

Una de las desventajas del radar es la escasa resolución de las imágenes, consecuencia de la longitud de onda en que opera y de la longitud de la antena. No es aconsejable reducir la longitud de onda, pues disminuye mucho la penetración de las ondas a través de nubes o lluvia, recurriéndose al aumento artificial de la longitud de la antena para mejorar la resolución. Este principio da lugar a los sistemas SLAR de apertura sintética, cuyo estudio excede los límites de este trabajo.

Las imágenes radáricas revelan su interés en geología, hidrología y prospecciones petrolíferas, ya que detectan información imposible de obtener con la fotografía aérea convencional. Una de sus ventajas es que la iluminación y sombras radar definen claramente el relieve.

resultando sencilla la interpretación de la geomorfología y estructuras geológicas (fig. 5).

Programas espaciales.

La percepción de recursos naturales desde el espacio requiere el uso de transmisores y

Fig. 5.—Imagen obtenida con SLAR (cortesía de Goodyear Aerospace Corp.).



receptores de energía electromagnética, a bordo de satélites en órbita o laboratorios espaciales tripulados, para obtener imágenes o datos numéricos de fenómenos terrestres. Ciertas características únicas de la observación desde satélite afirman su ventaja, en algunos aspectos, sobre los sistemas aéreos; entre ellas se pueden citar:

- Cobertura de extensas áreas de terreno con pocas imágenes y posibilidad de acceso a regiones poco exploradas con otros medios convencionales.
- Cobertura repetida y sistemática de la misma zona en intervalos de tiempo cortos y a bajo coste adicional.
- Percepción fácil de los cambios y evolución de fenómenos naturales, mediante proceso automático y sucesivo de datos sobre la misma zona geográfica.

La posibilidad de controlar los recursos terrestres desde alturas orbitales fue reconocida, desde los comienzos del programa espacial de los Estados Unidos, basándose en las observaciones de satélites meteorológicos (ITOS, ESSA, NIMBUS) y en fotografías obtenidas durante las misiones Mercury, Géminis y Apolo.

Hasta hoy, dos han sido los principales programas espaciales dedicados a la observación de recursos naturales.

El satélite "ERTS" 1.

Fue lanzado al espacio por la NASA, el 23 de julio de 1972, desde las costas de California (fig. 6). Situado a 900 Km de altura, en órbitas sincronas con el Sol, casi polares y circulares, está actualmente en servicio y va dotado con tres cámaras de televisión y un barredor multiespectral de cuatro canales, sensibles a las radiaciones visibles e infrarrojas (hasta 1,1 micras). Sus sensores, permanentemente orientados hacia la superficie terrestre, detectan escenas de 185 Km² sobre la misma zona geográfica, cada dieciocho días, en condiciones análogas de iluminación solar. Estas características orbitales le permiten recoger información sistemática y repetida sobre los recursos naturales de cualquier región del planeta. De hecho, ha recubierto ya la península ibérica, Baleares, Canarias y el Sahara Espa-

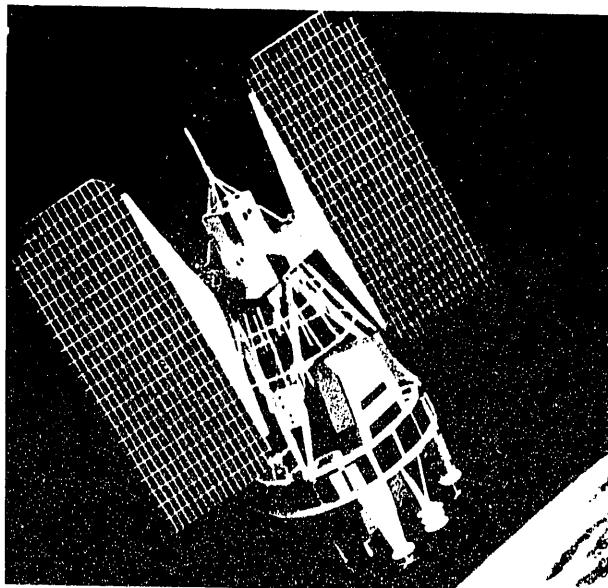


Fig. 6.—El satélite ERTS-1.

ñol con más de 250 imágenes, cada una en sus cuatro bandas espectrales (figs. 7 y 8). Los datos obtenidos, tras su proceso en el Centro de

Fig. 7.—Imagen obtenida por el satélite ERTS-1 sobre el delta del Ebro y las costas de Cataluña. Se observa una gigantesca anomalía ecológica en el vertido de los ríos del litoral mediterráneo.



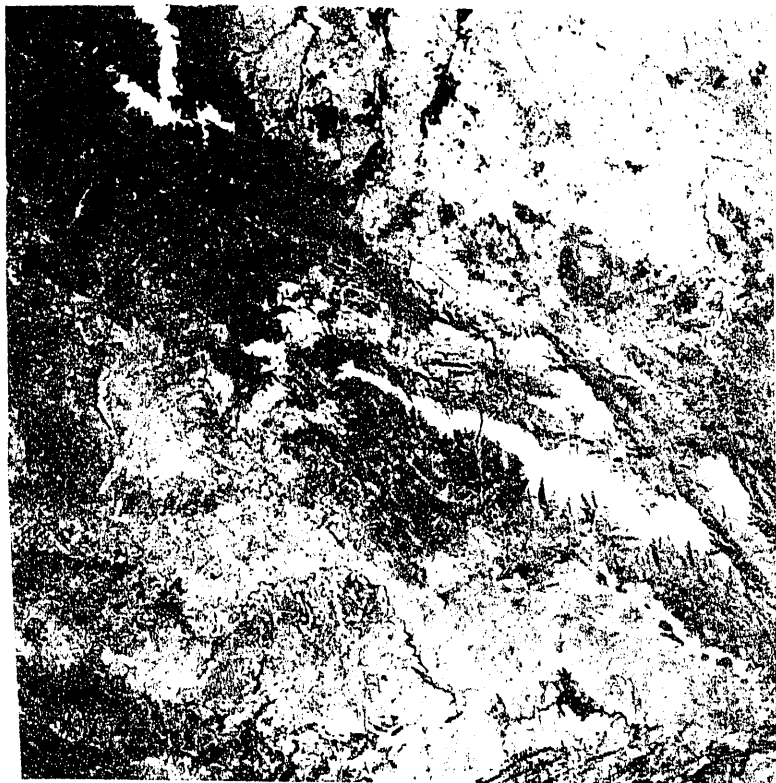


Fig. 8.—La región central de España, observada por el satélite ERTS-1.

Vuelos Espaciales de Goddard (Maryland), son evaluados por investigadores de todo el mundo para extraer información útil en geología, hidrología, urbanismo, ecología, oceanografía, agricultura y planificación del territorio.

Un segundo satélite, "ERTS" B, será operativo en febrero de 1975 y ampliará la información obtenida por su predecesor, al operar con un canal del sensor multiespectral en la región del infrarrojo térmico.

El laboratorio espacial "Skylab".

Un gran paso en la aplicación de la tecnología espacial al control ecológico lo constituyó la misión "Skylab". Desde mayo de 1973 a febrero de 1974, durante sus tres misiones tripuladas, el laboratorio espacial ha sido la plataforma idónea para llevar a cabo experimentos de observación de recursos terrestres con multitud de sensores manejados por astronautas (fig. 9). Situado en órbita de 50° de inclinación y a 420 Km de altura, el "Skylab" ha obtenido miles de fotografías y bits electrónicos sobre los océanos y continentes de la

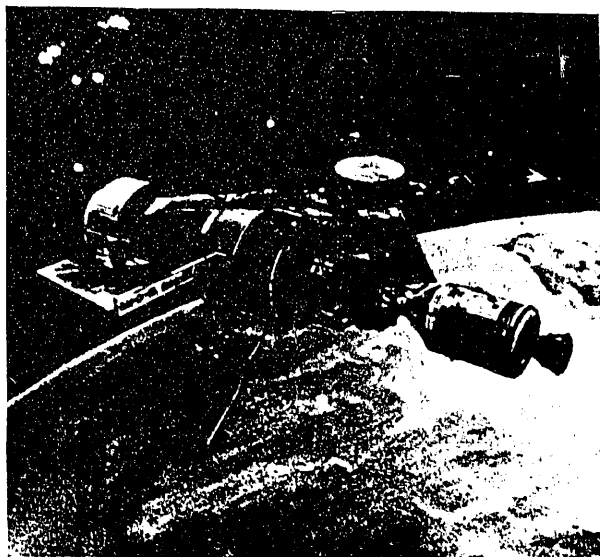


Fig. 9.—El laboratorio espacial SKYLAB.

Tierra (fig. 10). La ingente cantidad de información recogida tardará años en ser explotada de una forma exhaustiva por la comunidad científica internacional.



Tratamiento de la información.

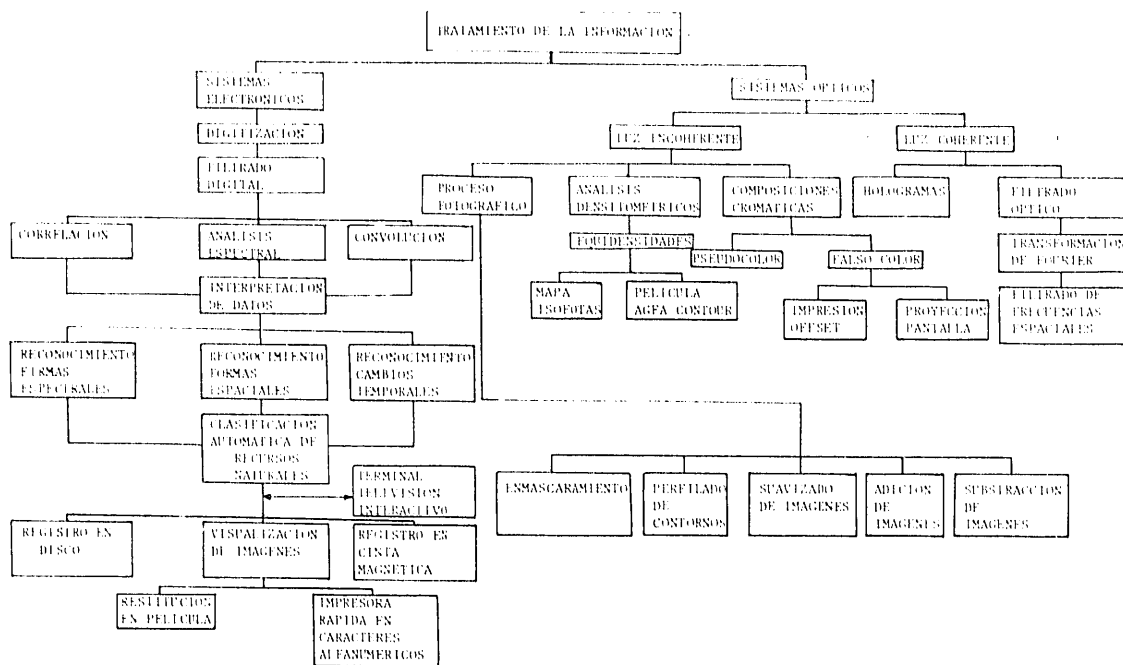
Los datos adquiridos por sensores remotos no están codificados de una forma conveniente para su explotación, sea ésta manual o automática, y han de transformarse para ser utilizados como entrada de las unidades de proceso digital y/o fotomecánico. Las técnicas y métodos de tratamiento de la información multi-espectral que están actualmente implementados se señalan en la tabla 2.

Varios sistemas automáticos de clasificación de recursos naturales han sido ya puestos a punto en Universidades y Centros de Investigación de los Estados Unidos. Cabe citar, entre otros, el programa LARSYS, desarrollado por la NASA y los laboratorios LARS de la Universidad de Purdue, aplicable al IBM 360/50.

La visualización de imágenes reviste un interés fundamental, ya se trate de visualización directa en cliché fotográfico, de "salida" por impresora rápida de un ordenador electrónico

Fig. 10.—Fotografía obtenida por el SKYLAB sobre la desembocadura del río Guadalquivir. Se aprecia la autopista Cádiz-Sevilla en la parte inferior derecha.

TABLA 2.—Sistemas electro-ópticos de tratamiento de la información remota.



en caracteres alfanuméricos (fig. 11), de combinaciones cromáticas o análisis densitométricos aptos para facilitar la interpretación, o de una representación de la imagen en pantallas

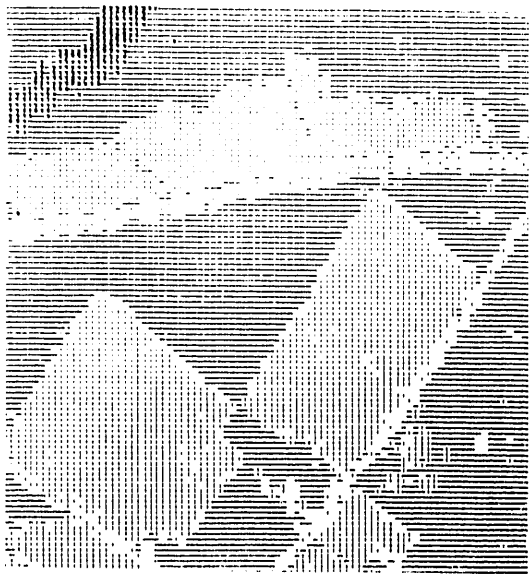


Fig. 11.—Visualización de un cliché fotográfico sobre impresora rápida de un ordenador electrónico.

de televisión interactivas entre el investigador y la máquina (fig. 12).

El trabajo fotográfico que requieren las operaciones de observación de recursos terrestres es muy diferente al que se practica corrientemente en los laboratorios de tratamiento de imágenes. Esto se debe a que el destino de la

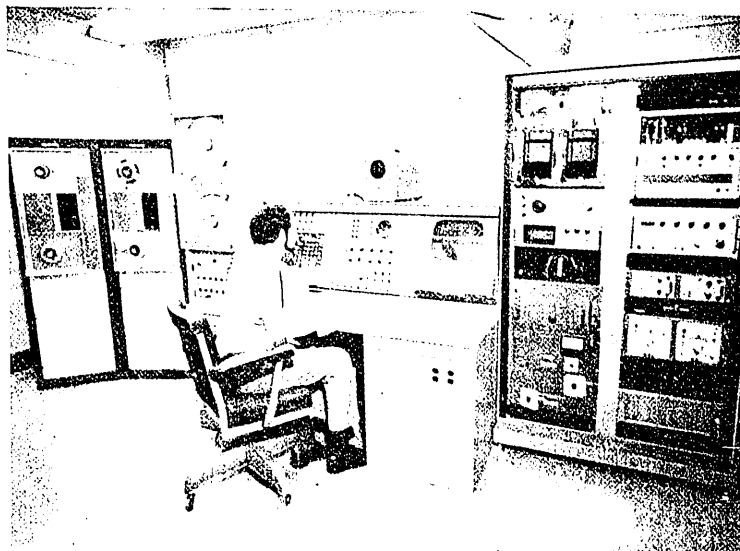


Fig. 12.—Centro de proceso de datos digitales.

información es, ante todo, científico; el aspecto estético de las imágenes no tiene nada que ver con la calidad de los datos registrados. La naturaleza de los datos, el tratamiento y la producción de documentos están, pues, ligados por un mismo destino: producir un máximo de información sobre el territorio en una banda espectral determinada.

Esperemos que la aplicación de esta nueva tecnología ofrezca a los habitantes de la Tierra un futuro más esperanzador que el denunciado por las Naciones Unidas en su declaración del medio ambiente humano y se supere el actual punto crítico de contaminación alcanzado por nuestro planeta.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY: "Manual of Color Aerial Photography". Falls Church. Virginia, 1968.
- CARTER, W. D.: "Geologic questions and significant results provided by early ERTS-1 data". ESRO Reprint 158, U.S. Geological Survey, Washington, D. C.
- COLWELL, R. N.: "Remote Sensing of natural resources". Laser and Light, readings from Scientific American, W. H. Freeman Co., California, enero 1968.
- DEANE, R. A.: "Side-Looking Radar Systems and their potential Application to earth-resources surveys". ESRO Contract Report CR-136, Neuilly-sur-Seine, abril 1973.

- DRENNAN, K. L.: "Some potential applications of remote sensing in fisheries". Proceedings of the symposium on remote sensing in marine biology and fishery resources, Texas A. & M. University College Station, Texas, enero 1971.
- DOYLE F. J.: "Interpretation of spatial relationships". International Workshop on Earth Resources Survey Systems, NASA Scientific and Technical Information Office. Washington, D. C., mayo 1971.
- DOYLE, F. J.: "Imaging sensors for space vehicles". Invited paper for Commission I, XII Congress of ISP, Ottawa, Canadá, julio-agosto 1972.
- FISHER, W. A.: "Uses of Applications Satellites for Inventorying and monitoring the Earth's Resources". Presentado en el XXII International Astronautical Congress. Bruselas, septiembre 1971.
- GURK, H., y otros: "Ground data, handling system study for the earth resources observation satellite, Phase II. User Data processing requirements". RCA Defense Electronic Products, Princeton, New Jersey, noviembre 1969.
- HOLZ, R. K.: "The Surveillant Science: remote sensing of the environment". The University of Texas, Austin, Texas.
- MESNER, M. H., y STATON, M. G.: "Television in Space". RCA Corporation, Journal of the Armed Forces Communications and Electronics Association, enero 1970.
- NASA: "Remote measurement of pollution". National Technical Information Service, N 72 - 18324 Springfield, Virginia, 1971.
- NASA: "Exploring earth resources from space". Office of Public Affairs, Washington, D. C., julio 1971.
- NASA: "SKYLAB experiments, Volume 2, Remote Sensing of earth resources". Washington D.C., mayo 1973.
- NASA: "Earth Resources program synopsis of activity" Manned Spacecraft Center, Houston, Texas, marzo 1970.
- NASA: "ERTS Data Users handbook". General Electric Co. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- NASA: "Third ERTS Symposium". Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, diciembre 1973.
- NUÑEZ DE LAS CUEVAS, R.: "Aspecto técnico de los métodos de percepción remota". Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 1972.
- PARKER, R. A.: "Post-SKYLAB-4 summary". Conferencia pronunciada el 21 de febrero de 1974 en Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas.
- ROBINOVE, C. J.: "Perception via satellite". EROS Reprint No. 80, U.S. Department of the Interior. Washington D.C.
- SWAIN, P. H.: "Pattern Recognition: A basis for remote sensing data analysis". LARS Information Note 111572, Laboratory for Applications on Remote Sensing, Purdue University. Indiana, noviembre 1972.