Uso de Sensores Remotos en la Percepción de Recursos Naturales

Por Marcelo POLIZZI Muñoz Capitán de Corbeta Armada de Chile

1. En el primer trimestre de 1972, la N.A.S.A. pondrá en órbita polar un satélite con instrumental destinado a recoger antecedentes para el estudio de Recursos Naturales. Dicho satélite pasará sobre nuestro país cada 18 días, lo cual permitirá efectuar estudios comparativos de diferentes fenómenos en forma continuada y evaluar las variaciones que en este corto lapso y así sucesivamente, vayan experimentando los fenómenos que interesa estudiar.

Los distintos servicios cartográficos del país disponen de algunos equipos usados en percepción remota. Tal es el caso del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea, Instituto Geográfico Militar e Instituto Hidrográfico de la Armada. Estas Instituciones poseen equipos e instrumentales para el trabajo con fotografías aéreas. Sin embargo, cuando las áreas de interés para un determinado estudio son de gran extensión y se hace necesaria la obtención de un muestreo periódico para fines de comparar evoluciones, la solu-

ción por medio de vuelos aerofotogramétricos se haría en extremo laboriosa y a un costo que desorbitaría cualquier presupuesto. La solución a este problema la brinda el satélite equipado con sensores remotos.

Por el momento en Chile, las únicas experiencias con sensores instalados satélites son las del Departamento Geofísica de la Universidad de Chile que opera con equipos cedidos por NASA. y las del Servicio Meteorológico de la Armada, que cuenta con una instalación de Estación Receptora de Fotos de Satélites en la Base Aeronaval de El Belloto. Se reciben en esta Base las fotos de diferentes satélites meteorológicos, cubriendo un área que abarca de los 10º N. a 70º S. y de los 20° W. a los 130° W. permitiendo de este modo efectuar el nefoanálisis de esta área. En igual forma, este equipo de la Armada permite la recepción de información meteorológica a través de los satélites de comunicaciones ATS.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1. Percepción Remota del Ambiente:

Significa la adquisición de información sobre ciertos tenómenos o procesos ambientales sin poner el objeto compilador en contacto con el sujeto de la investigación. La percepción remota se basa en el simple hecho físico de que, cualquier objeto (roca, árbol, planta, agua) emite o refleja una "señal" peculiar de tipo electromagnético que ciertos instrumentos pueden registrar desde gran distancia.

2.2. Sensores Remotos:

Son todos los equipos que pueden usarse dentro del área de la percepción remota, como ser: cámaras fotográficas, radares, equipo de detección electromagnética, medios de muestreos de campos magnéticos, elementos de gravimetría, rayos laser, objetos que operan con ondas acústicas, etc.

Es posible distinguir entre sensores "activos" y "pasivos". Los sensores activos emiten impulsos que al chocar contra el objetivo en estudio son reflejados en un espacio determinado y de una manera específica; uno de los sensores activos más eficaces parece ser el Radar. Los sensores pasivos sólo muestrean radiaciones emitidas por los objetos que se pretende estudiar. Entre los sensores pasivos se encuentran los radiómetros. La fotografía aérea es una suerte de sensor mixto que aprovecha una fuente de iluminación, el sol, pero ésta no le es propia y, en consecuencia, registra los reflejos de los objetos.

2.3. Medios Transportadores:

Son los aparatos móviles que se usan para la conducción del equipo de percepción remota. Hasta hace corto tiempo, el más eficiente transportador era el avión comercial; progresivamente fue diseñándose y adaptándose el equipo aéreo e incluso construyéndose aviones especialmente acondicionados y helicópteros. Recientemente se ha experimentado con satélites artificiales que, además de proveer información general del ambiente, a través de complejos equipos, han sido empleados para la toma de fo-

tografías de valor meteorológico y cartográfico. Las fotografías más nítidas que han sido difundidas son las captadas por los astronautas de la serie Geminis, usando cámaras Hassel Blod convencionales.

3. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA PERCEPCION REMOTA DEL AMBIENTE

3.1. Principios:

Se puede sostener que todo cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto, irradia energía electromagnética que está en relación directa con sus acciones moleculares y atómicas. Dado que esta energía es irradiada hacia el infinito sin requerir de un medio de propagación, es posible caracterizar las propiedades electromagnéticas de un objeto cualquiera, si se dispone de un detector adecuadamente sensible como para interceptar una porción de la radiación.

Las diferentes clases de radiación se distinguen en función de los detectores que se usan y de las distintas longitudes de ondas.

Debe señalarse que, en verdad, la porción visible del espectro es bastante pequeña y que las posibilidades de uso de detectores en otras longitudes de onda abren perspectivas interesantísimas.

4. SENSORES OPTICOS

Las cámaras fotográficas ofrecen la mejor "resolución" espacial de todos los sensores remotos disponibles en la actualidad, per cuanto permiten distinguir los detalles finos y pueden hacerlo desde gran altura. Notables adelantos ha hecho la industria óptica en cuanto a resolución en cámaras, con lo que se ha dado respuesta a las necesidades de los programas espaciales y especialmente a los de espionaje militar. Se ha logrado "resoluciones" de hasta 30 cms., pero considerando que el grado y monto de información que se haría disponible en tales condiciones resultaría en una acumulación excesiva de información, se está buscando un nivel de "resolución" que se adecúe a los propósitos de la primera serie de satélites para el estudio de los recursos naturales.

4.1. Las Cámaras Panorámicas:

Se distinguen porque permiten fotografiar un área muy amplia en una sola foto con una "resolución" muy grande, pero su uso requiere de un campo angular angosto que permita minimizar las aberraciones de los lentes. Un problema más grave es que, a diferencia de la cámara convencional en que la película descansa sobre una superficie plana, en la cámara panorámica tiene que tomar la forma de un arco para poder mantener un foco uniforme que permita el paso directo de la luz hacia el film, la cual se traduce en grandes variaciones de escala. Se considera que estas cámaras son útiles en la detección de tipos de cultivo, áreas límites de playa, dunas, hielos, etc.

4.2. La Cámara Multibanda

Cuenta con una serie de lentes equipados con filtros especiales que bloquean porciones del espectro visible y que corresponden a películas de distinta sensibilidad, permitiendo obtener varias fotos simultáneas en diferentes bandas del espectro visible y aún hasta bastante cerca del infra-rojo y ultra-violeta. Con el juego de imágenes que presentan distintos tonos resulta posible para el fotointérprete determinar un tipo de "señal Tonal" para cada objeto, logrando cúmulo de información que sería imposible obtener con fotos convencionales. Distintos especialistas pueden descubrir diferentes elementos usando las diversas imágenes. Satélites equipados con cámaras de multibanda serán de enorme utilidad para el mapeo básico con indicación de la localización de los recursos. Ello permitirá contar con información de última mano que elimine los problemas actuales, de envejecimiento de los datos.

4.3. Otros Tipos de Cámaras y su Uso desde Satélites

De grandes perspectivas para la cartografía son las cámaras métricas cuyo atributo más significativo es su buena geometría para la confección de pares estereoscópicos. Muchas utilidades podría prestar el empleo de fotografías captadas desde satélites. Fotos de pequeña escala serían de inapreciable valor en la confección de mapas vegetacionales (bosques maderables, matorrales, pastizales) de áreas aún no reconocidas.

El uso de películas y filtros adecuados permitiría distinguir tres tipos de bosques: de maderas duras, de maderas blandas y mixtos. Con fotos de mayor escala es posible determinar el tamaño de los árboles, la densidad y el volumen de la madera, así como algunos indicios acerca del estado sanitario de las especies y de la susceptibilidad de incendios forestales. Es posible también usar fotografías para la administración de tierras de pastoreo, pues con ellas se hace factible el reconocimiento de las distintas especies vegetacionales de un área, así como su volumen y valor forrajero. Por otra parte, puede obtenerse de ellas información relativa a la salinidad del suelo, sitios de agua, plantas que son venenosas para el ganado, superficies fuertemente erosionadas y que requieren especial atención, etc. Las fotos espaciales permitirían además el levantamiento de censos de aves y animales silvestres, así como la determinación de cultivos, su ritmo de crecimiento y rinde potencial, etc. Un satélite automático no tripulado podría llevar a bordo un equipo de percepción remota de multibanda acoplado a un computador, con lo que podría levantarse un inventario de cualquier área y producir un impreso equivalente a un mapa de recursos de esa área. El computador usaría entonces los datos del inventario en función de una serie de factores pre-programados, por ejemplo, estimación de la relación costo-beneficio de la explotación, lo que contribuiría a señalar pautas de decisión para el manejo óptimo de los recursos del área.

5. SENSORES INFRA-ROJOS (I.R.)

El término I.R. se refiere a aquella porción del espectro electromagnético ubicado entre longitudes de ondas visibles y las de radar. A causa de que la atmósfera constituye una suerte de gran invernadero, emitiendo constantemente energía solar almacenada, un sistema I.R. puede ser usado para obtener coberturas de imagen continua. Las condiciones atmosféricas son un factor importante en las potencialidades de los sistemas I.R. para lograr imágenes de calidad, porque la radiación recibida debe pasar a través de una porción de aquella atmósfera. De la misma manera en que un vidrio bloquea efectivamente la transmisión de ciertas longitudes de ondas a la atmósfera exterior de un invernadero, la atmósfera terrestre bloquea efectivamente la transmisión de ciertas proporciones de la energía emitida o reflejada desde la superficie terrestre. A causa de la naturaleza selectiva de este fenómeno, se dice que existen "ventanas I.R." en la atmósfera terrestre. Deben usarse detectores que respondan a las longitudes transmitidas a través de estas "ventanas", si es que se desea una imagen nítida por un sistema infra-rojo desde alturas razonables. Estas "ventanas" varían por efectos de diferencias de humedad y contenido de partículas sólidas de la atmósfera, velocidad del aire, etc. Estos elementos varían en general la fidelidad geométrica de la representación.

Dos técnicas básicas se emplean para detectar objetos en I.R. El primer sistema emplea película aérea de color o en blanco y negro, hecha sensible a las marcas técnicas de energías semi infra-rojas reflejadas por objetos desde la Tierra. Se denomina infra-roja porque yace en el término del espectro visible y es útil para la detección de estados fitosanitarios. Pero los objetos terrestres emiten también calor en ondas claramente infrarojas, cuya detección requiere de otro sistema, empleándose para ello instrumentos más sensibles como el Scanner o "mapeador" infra-rojo. El corazón del "mapeador" es un detector del tamaño no superior al de una cabeza de alfiler, el cual es sensibilizado por las débiles señales de energía infra-roja. Un espejo de rotación rápida refleja el suelo que está siendo "barrido" y envía los fotones débiles de energía infra-roja al detector, generando señales electrónicas cuya intensidad se encuentra en relación directa con la energía reflejada del suelo. Las señales son desplegadas en forma de un rayo de electrones que da lugar a puntos luminosos, brillantes y móviles sobre la faz de un tubo para ser orientados sobre la película produciendo una imagen detallada del suelo que puede ser reproducida en forma de un mapa.

5.1. Usos del Infra-rojo

a) En Geología:

En experiencias realizadas con películas infra-rojas desde un avión cohete me-

diante el empleo de una cámara Hycon, se pudo apreciar las ventajas en el reconocimiento geológico, pues las diferencias tonales brindaron indicios para la detección de la naturaleza del substrato rocoso. El mapeador óptico, por su parte, está capacitado para percibir longitudes de onda de la región termal infraroja, a la que no es sensible la película fotográfica convencional, proporcionando imágenes de multibanda. La detección de intensidades térmicas relativas provee un buen índice para la determinación de áreas volcánicas y zonas de fallas.

b) En estudios de vegetación:

En la porción del I.R. del espectro electromagnético, algunos elementos importantes de la vegetación pueden interpretarse con mayor rapidez que sobre fotografías visuales standard. Los árboles enfermos y muertos aparecen con claridad en las imágenes aéreas infra-rojas, igualmente la vegetación sana aparece en color rojo y la seca en café.

c) En Meteorología y Climatología:

La percepción remota ha encontrado vastas perspectivas en los campos de la meteorología y la climatología, particularmente en relación con satélites. Se han desarrollado instrumentos para la medición horizontal de las distribuciones térmicas en la atmósfera y la detección de turbulencias de aire claro; interferómetros se han usado para la indicación de alertas meteorológicos y para estudios científicos de la atmósfera desde aeroplanos y satélites. Informaciones del tiempo atmosférico se han obtenido con el satélite Nimbus por medio de un detector infra-rojo sobre una base continua de informaciones sobre la cubierta y estructura de las nubes. Por medio de radiómetros infra-rojos de alta resolución, el satélite Nimbus logró obtener imágenes nocturnas de calidad comparable a las fotos del satélite Tiros. El sistema está capacitado para determinar la altitud de las nubes, agregando una perspectiva tridimensional a la imagen.

d) En Fenómenos Subterráneos:

Se han constatado las condiciones especiales del I.R. en la detección de ciertos fenómenos subterráneos, siendo de gran utilidad para las investigaciones arqueológicas y mineralógicas.

e) En Hidrología:

Imágenes I.R. están siendo usadas para examinar detalles de drenaje que puedan ser obscurecidos por el follaje forestal cuando se usan fotografías convencionales. Esta situación se debe al comportamiento térmico diferente del agua y la vegetación; igualmente se ha observado la gran utilidad de las imágenes en la detección de áreas de crianza de insectos (aguas estancadas) como asimismo la determinación de aguas contaminadas y su grado de sedimentación. También es factible evaluar el efecto de ciertos sistemas de riego sobre los diversos tipos de suelo. Eventualmente sería posible precisar la cantidad exacta de agua necesaria para producir la correcta humidificación del suelo para lograr un óptimo crecimiento vegetal.

f) En la Armada:

Los reactores de los submarinos nucleares disipan una gran cantidad de calor y, por lo tanto, un sensor infra-rojo puede captar el rastro que dejará el submarino al navegar sumergido.

g) Otros Usos del Sistema Infra-rojo:

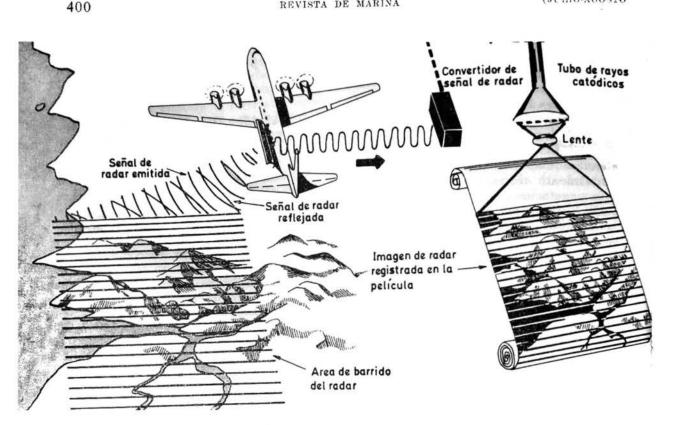
Grandes expectativas se prevén en el uso de Sensores I.R. en la detección de niveles de almacenamiento y reserva de agua en los tranques para regulación de ella en las poblaciones, como asimismo reserva de nieve en las cordilleras para predecir su uso y cantidad en épocas de deshielo. En el plano urbano, el sistema I.R. ha probado ser útil en la detección de flujos de transporte. diferenciando automóviles de vehículos de carga. Si se considera que los caminos con mayor densidad de vehículos alcanzan una mayor temperatura que los considerados normales, al obtener una cobertura de toda un área se puede fácilmente planificar el control del tráfico de carreteras y detectar zonas de embotellamiento. La determinación de índices de contaminación atmosférica sobre las ciudades es fácilmente detectable, lo que permite regular la instalación de establecimientos industriales para evitar el smog.

6. RADAR DE VISTA LATERAL AEROTRANSPORTADO (SLAR)

El radar aéreo de vista lateral fue desarrollado como una técnica efectiva para cartografiar superficies, durante el día o la noche, que no havan podido ser fotografiadas usando métodos convencionales de fotogrametría. Este radar opera con una longitud de onda muy corta que produce imágenes nítidas debido a las características de refracción de la superficie terrestre. La imagen de radar es una grabación de la interacción de las ondas electromagnéticas de radar transmitidas hacia la Tierra y devueltas de una manera desuniforme, para producir y componer la imagen del área que se está cartografiando. El contorno natural del terreno, su contenido, grado vegetacional y características geológicas se separan devolviendo las ondas de radar para producir una detallada imagen. El radar examina en franjas cuidadosamente el terreno y las ondas de retorno son conducidas a bordo a un convertidor donde son transformadas en rayos de electrones los que son desplegados en un tubo de rayos catódicos. Una cámara con un lente especial graba cada línea del "barrido" en un film de película, que se mueve a una velocidad proporcional a la velocidad del avión sobre la Tierra, produciendo una imagen similar en apariencia a una fotografía aérea. Lo anterior se ilustra en la figura 1.

6.1. Cobertura del Area:

El ancho de cada faja cartográfica en el terreno depende de la altura de vuelo. Directamente bajo el avión y de 1 a 2 kilómetros en cada faja, son normalmente cartografiados con baja nitidez y rendimiento, por lo que, al cubrir el área, los vuelos son programados incluyendo el número de fajas necesarias y con el suficiente recubrimiento entre ellas que permitan así recubrir la zona directamen-



te bajo el avión y a la vez compensar los errores de navegación.

El punto inicial del vuelo es determinado visualmente a una referencia notable del terreno o bien usando los sistemas de navegación del avión (OMNI o VORTAC). El track deseado se mantiene con alta exactitud por medio del radar repetidor y computadora con que se encuentra equipado el avión. Esta unidad en conjunto con el compás, indica la velocidad real del avión y la deriva sobre el terreno. En caso necesario, un área puede ser repasada hasta que se obtenga una imagen satisfactoria en un 90%. excluyendo las sombras noimales.

6.2. Exactitud de la Imagen:

Mientras el contenido de información de la imagen de radar es su primer objetivo y valor, su exactitud como mapa es de gran importancia para ciertos fines. Dos parámetros determinan la ubicación de un blanco u objetivo particular en el film de radar. Su ubicación a lo largo del track terrestre del avión, está determinada por la velocidad del film, velocidad que es controlada por el repetidor de radar y que depende a su vez de la velocidad del avión: la ubicación del blanco u objeto en el sentido perpendicular al track terrestre del avión, queda determinada a su vez, por el tiempo de tránsito de las ondas de radar al y desde el objeto y la velocidad de rastreo del haz del tubo de rayos catódicos. Marcas de distancia impresas en el film permiten determinar el grado de inclinación de todos los objetos cartografiados, lo que permite producir una imagen de radar a escala. La altitud del avión debe conocerse con buena exactitud para lograr determinar con certeza los grados de inclinación. Incluyendo las tolerancias eléctricas de los circuitos, los errores de ubicación de los objetos en la imagen son posibles dentro de ± 5%. Los errores varían con la topografía del terreno y la altitud del avión.

6.3. Calidad de la Imagen:

Turbulencias, nubes de lluvia v el mecanismo del sistema de la antena del radar afectan en mayor o menor grado la calidad de la imagen. La antena del radar se encuentra estabilizada por un sistema giroscópico, lo que la aisla de las perturbaciones que sufre el avión dentro

de ciertos límites. Con aire turbulento puede que estos límites sean sobrepasados, obteniendo calidad de imagen rebajada, pero no necesariamente insatisfactoria. En vuelo, el piloto procura mantener el avión estabilizado para lograr que la antena del radar no liegue a los puntos de limitación. En virajes escarpados la antena excede los límites de estabilización con lo que se eleva el haz de ondas y se debilita el retorno o incluso se anula, poniéndose la imagen borrosa o desaparece. En viraje normal su efecto se atenúa.

Las nubes afectan en pequeño porcentaje la calidad de la imagen; solamente nubes con alto grado de humedad y fuertes precipitaciones obscurecen el suelo. Las características del terreno también afectan la calidad de las imágenes, para lo cual un sistema automático de control de intensidad es usado en el radar. Así si muchos blancos de radar están iluminados, el nivel de intensidad se reduce, el ruido de fondo es bajo y como resultado se obtiene una imagen de alto contraste. En cambio, si el terreno a ser cartografiado es un área desierta, con muy baja humedad y poca vegetación, el nivel de intensidad del radar sube automáticamente y se obtiene una imagen poco contrastada.

6.4. Potencialidades del Radar de Vista Lateral:

Es interesante señalar el uso que se ha dado a este medio para mapear áreas que nunca antes habían sido cartografiadas mediante procedimientos convencionales. De esta manera, se logró confeccionar los primeros mapas de un sitio potencial para un nuevo canal interoceánico en Panamá; se trata de la región pantanosa del Darién que aún no es cruzada por camino alguno y que no ha podido fotografiarse siquiera desde el aire, a causa de una perpetua cobertura de nubes y de una muy densa capa vegetacional.

Para esta misión el "Army Map Service" utilizó un radar aéreo Westinghouse que permitió completar, desde 6.700 metros de altitud, la información para el primer mapa preciso del Darién.

El radar de vista lateral aerotransportado (SLAR) jugará un papel importantísimo en el estudio de recursos terrestres. Su uso en nublados o neblinas, con lluvia y aún de noche, condiciones que con otros sensores remotos no son perceptibles, le deparan un auspicioso futuro.

7. EL INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA ARMADA Y LOS SATELI-TES ERTS Y SKYLAB.

Como fue explicado al inicio de este artículo, la Armada, a través de su Servicio Meteorológico, con asiento en la Base Aeronaval de El Belloto, trabaja en el aspecto meteorológico, haciendo uso de la percepción remota del ambiente por medio de sensores remotos de satélite.

El Instituto Hidrográfico, a su vez, ha presentado a NASA un Proyecto para participar, a contar de 1972, del Programa que desarrollarán los satélites ERST y SKYLAB, los que, en órbita polar, obtendrán información ambiental sobre nuestro país cada 18 días.

Los aspectos de interés científico y económico en que se centrará la participación del Instituto Hidrográfico de la Armada, dicen relación principalmente con los aspectos batimétricos y oceanográficos. Específicamente se ha indicado a NASA el interés en los siguientes temas: Localización de corrientes marinas, Estudio de barreras térmicas, medidas del Estado del Mar, Estudios sobre Topografía Submarina, Localización de áreas biológicamente ricas, Distribución de aguas de ríos en el mar, Identificación de peces de superficie y Polución.

Inicialmente todos los esfuerzos del Instituto Hidrográfico de la Armada se centrarán en el estudio de la estructura térmica del océano, frente a las costas de Chile. La estructura térmica de estas aguas es aquella característica de las zonas de surgencia.

El análisis de cerca de cuarenta expediciones y otros datos tomados con sensores remotos desde aviones, han permitido estimar la extensión e intensidad de la surgencia a lo largo de la costa. Las observaciones de temperatura provenientes de los satélites ERTS y SKYLAB serán muy valiosas para ampliar el conocimiento de estas áreas de surgencia en

tiempo y espacio. Los transportes de agua en el océano en Chile son cuasi-geostróficos, dado que la salinidad a profundidades mayores de 20 metros varía muy poco. Por esta razón la densidad de las aguas está determinada principalmente por la temperatura. Hay también una marcada tendencia a una "exhibición estacional" en las propiedades de las aguas, desde el Norte hacia el Sur. El gran cubrimiento observacional de los satélites permitirá un estudio detallado de la distribución de propiedades en las aguas.

Es indudable el beneficio que significará para el país la realización del Programa que la Armada está impulsando. Un mejor conocimiento del medio marino gravitará en aspectos tan importantes como son la topografía submarina, la distribución y localización estacional de áreas potenciales de pesca, el conocimiento de las líneas de comunicaciones óptimas para el transporte marítimo, la predicción de olas y corrientes para pro-

pósitos de navegación e instalaciones y estudios portuarios y la determinación de aguas contaminadas. Es posible prever que a mediados del decenio 1970-1980 la mayor parte de los aspectos mencionados se estarán desarrollando en el Instituto Hidrográfico de la Armada y en otros Organismos nacionales interesados en el conocimiento y uso del medio marino.

Bibliografía:

- a) Informe Nº 26, del Instituto de Investigación de Recursos Naturales.
- b) Publicaciones Técnicas de la Westinghouse Corporation.
- c) Conferencias sobre el tema en que participé en el Inter American Geodetic Survey. Panamá.
- d) Proyecto presentado a NASA por el Instituto Hidrográfico de la Armada para la participación en los Programas de los Satélites ERTS y SKYLAB.