

IIRN

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES

**USO DE SENSORES
REMOTOS EN LA
PERCEPCION DE RE
CURSOS NATURALES**

INFORME N° 26

I 66 u.
1664
C.1

1968

Santiago - Chile

1664
c.1

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES
C O R F O

USO DE SENSORES REMOTOS EN LA
PERCEPCION DE RECURSOS NATURALES



(Diciembre 1968)

Miguel Ruiz-Tagle P.
Director Ejecutivo

Miguel Villa S.
Geógrafo

01661

I N D I C E

	Pág.
A. INTRODUCCION	1
1.- Propósito	1
2.- Conceptos Fundamentales	2
2.1. Percepción remota del ambiente (Remote sensing of the Environ <u>ment</u> , R.S.E.)	2
2.2. Sensores remotos	2
2.3. Medios transportadores	2
B. FUENTES DE INFORMACION	3
1.- Información disponible en Chile	3
2.- Fuentes de información en el extranjero	3
3.- Organismos internacionales interesados en percepción remota	4
4.- Congresos sobre sensores remotos	5
C. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA PERCEPCION REMOTA DEL AMBIENTE Y SU TRASCENDENCIA EN LA INVESTIGACION SOBRE RECURSOS NATURALES	10
1.- Principios	10
2.- Sensores ópticos	11
2.1. Las Cámaras Panorámicas	11
2.2. La Cámara Multibanda	12
2.3. Otros Tipos de Cámaras y su uso desde satélites	12
3.- Fotografía Espacial y Medios Transportadores	14
3.1. Las experiencias de los satélites Tiros y Nimbus	14

	Pág.
3.2. El uso de satélites e imágenes fotográficas espaciales en la Investigación Geográfica y Geo- lógica	15
3.3. Las fotografías espaciales y América Latina	19
4.- Sensores Infra-Rojos	21
4.1. Uso de I.R. en Geología	22
4.2. Uso de I.R. en Estudios de Ve- getación	23
4.3. I.R. en Meteorología y Clima <u>t</u> ología	25
4.4. El uso de I.R. en la detección de Fenómenos Subterráneos	26
4.5. El Uso de I.R. en Hidrología	26
4.6. Otros Usos del Sistema I.R.	27
5.- Radar	28
6.- El Uso de Microonda	30
7.- Otros Sensores	31
D. EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION DE RE- CURSOS DESDE EL ESPACIO: PERSPECTIVAS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	33
1.- Limitaciones de la Investigación y su Estado Actual	33
2.- Los distintos tipos de sensores y sus ventajas comparativas	36
3.- El procesamiento de la información	38
E. CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42

A. INTRODUCCION

1.- Propósito.

Este estudio surgió como una respuesta a las inquietudes expresadas por el Instituto de Investigación de Recursos Naturales, en torno a la disponibilidad de antecedentes relativos al uso de técnicas vinculadas a la detección de recursos desde gran altura y en forma rápida. De esta forma, el propósito de este trabajo es hacer un recuento de la información existente en Chile respecto de la percepción remota del ambiente mediante el uso de sensores remotos así como indicar algunas fuentes de información del extranjero (Sección B). Las Secciones C y D contienen referencias específicas a algunos de los sensores remotos y aplicaciones desarrolladas terminando con un recuento del estado actual de la investigación de recursos terrestres desde el espacio. No debe esperarse en este estudio un análisis de las peculiaridades tecnológicas que distinguen a cada sensor, sino más bien una descripción sucinta de sus principios y características. En este contexto, la mayor parte de la descripción es provista por publicaciones de diversa naturaleza que se encontraban en bibliotecas del país. Sólo en el momento final de la redacción de este trabajo se pudo contar con documentos más especializados cuya adquisición fue efectuada por IREN ante la perspectiva de posibles estudios posteriores que pudieran tener un carácter más específico que éste. De esta manera, el propósito central del trabajo es difundir, al nivel de los profesionales interesados en la investigación de recursos naturales, algunas nociones de nuevas técnicas de exploración y, presuntivamente, de evaluación, cuya información se hallaba, en gran medida, en inglés. Resulta lamentable señalar que la mayoría de las referencias disponibles se refieren a experiencias desarrolladas en los Estados Unidos y que sólo se cuenta con referencias fragmentarias relativas a otras naciones (Unión Soviética, Japón, Gran Bretaña, Francia); sin embargo, puede estimarse que los antecedentes utilizados constituyen una muestra más o menos representativa de los adelantos logrados en el campo de la percepción remota a nivel internacional.

2.- Conceptos Fundamentales.

Existen tres conceptos que se consideran fundamentales:

2.1.- Percepción remota del ambiente (Remote sensing of the Environment, R.S.E.). Significa la adquisición de información sobre ciertos fenómenos o procesos ambientales sin poner el objeto compilador en contacto con el sujeto de la investigación. Hasta el momento el campo de trabajo no ha sido delimitado con precisión e incluye toda clase de información adquirida mediante el uso de sensores remotos. La percepción remota se basa en el simple hecho físico que cualquier objeto (roca, árbol, planta) emite o refleja una "señal" peculiar de tipo electromagnético (signature) que ciertos instrumentos pueden registrar desde gran distancia.

2.2.- Sensores remotos (Remote sensors).

Son todos los equipos que pueden usarse dentro del área de la percepción remota. Puede tratarse de toda una gama de instrumentos entre los que pueden distinguirse cámaras fotográficas radares, equipos de detección electromagnética, medios de muestreo 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 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 aeroplano comercial; progresivamente fue diseñándose o adaptándose el equipo aéreo incluyéndose 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 fotografías de valor meteorológico, que son transmitidas automáticamente. Las fotos más nítidas que han sido difundidas son las captadas por los astronautas de la serie Géminis usando cámaras Hasselblad convencionales. Sin embargo, es probable que existan fotografías de mejor calidad pero que su manejo sea confidencial.

B. FUENTES DE INFORMACION

1.- Información disponible en Chile.

Los distintos servicios cartográficos del país disponen de material bibliográfico que describe alguno de los equipos usados en percepción remota, limitándose particularmente al instrumental en uso en Chile. Tal es el caso del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile y del Instituto Geográfico Militar. Ambas instituciones así como el Instituto Hidrográfico de la Armada, poseen equipos y materiales para el trabajo con fotografías aéreas. Los servicios armados han experimentado también con radares y sistemas de transmisión ultra corta pero los resultados obtenidos suelen ser de tipo secreto y todo parece indicar que el propósito perseguido es la obtención de información de tipo defensivo. Tal vez la experiencia más valiosa con sensores remotos sea la del departamento de Geofísica de la Universidad de Chile que opera con equipos cedidos por NASA, en Peldehue, para recibir las fotografías meteorológicas transmitidas desde satélites de la E.S.S.A.

Algunas publicaciones especializadas que tratan acerca de equipos susceptibles de empleo como sensores remotos se encuentran en las Bibliotecas de las Facultades de Ciencias y de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

2.- Fuentes de Información en el Extranjero.

2.1.- En los Estados Unidos.

Existe un gran número de agencias fiscales, privadas y universitarias estadounidenses dedicadas al estudio y experimentación con satélites artificiales y a la percepción remota del ambiente. Además de NASA existen

otras entidades que aglutinan organismos más especializados. Entre esas entidades pueden citarse:

- Environment Science Space Administration (E.S.S.A.)
- National Environmental Satellite Center (N.E.S.C.)
- Department of Commerce, Earth Resources Observation Satellite (E.R.O.S.)
- National Academy of Science - National Research Council (N.A.S. - N.R.C.) con dos subcomisiones dedicadas al uso de satélites y sensores en la percepción remota del ambiente.
- Office of Naval Research - Geography Branch (O.N.R. G.B.).
- U.S. Army Corps of Engineer (U.S.A. Co. E.)
- U.S. Army Map Service (A.M.S.).

Es interesante destacar el rol que cabe a ESSA en los estudios conducentes a obtener mayores informaciones sobre el uso de sensores remotos. ESSA es una agencia federal (civil) dependiente del Department of Commerce, y resultante de la fusión del Weather Bureau, el Coast and Geodetic Survey y el Central Radio Propagation Bureau del National Bureau of Standard. ESSA está dividida en varios institutos entre los que se distinguen el "Earth Sciences Institute" que se ha dedicado especialmente al estudio de los sismos y a su detección. Además existen en ESSA diversos centros, entre ellos el National Environmental Satellite Center, vinculados a la investigación espacial.

3.- Organismos Internacionales interesados en Percepción Remota.

Existe una gran falta de comunicación entre los distintos países del mundo sobre experiencias con sensores remotos. Sin embargo, es posible indicar que la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas (O.M.M.) tiene comisiones trabajando en este campo aunque no se dispone de detalles de las actividades desplegadas hasta la actualidad. En América, la IX Reunión del Consejo Directivo del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, celebrada en México en 1966 resolvió, a pesar de la reserva expresada por la delegación argentina, crear un comité ad-hoc para proponer un estudio detallado sobre sensores remotos "a los efectos de considerar las implicancias técnicas y de otra naturaleza a que dieran lugar".

Esa misma reunión acordó que las secciones nacionales consultaron al I.P.G.H. sobre vías y medios de realización práctica de trabajos con sensores remotos.

El comité ad-hoc quedó compuesto por expertos nacionales de U.S.A., Panamá, Argentina y México. Otro centro de gran interés por sus experiencias con sensores remotos es el Commonwealth Scientific Industrial Research Organization (C.S.I.R.O.) que está desarrollando proyectos de gran envergadura en Australia.

4.- Congresos sobre sensores remotos.

Es conveniente destacar, en primer lugar, los congresos realizados por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Michigan. Ellos han tenido el propósito de reunir a grupos de técnicos y científicos interesados en percepción remota para obtener información acerca de su uso potencial. En efecto, se ha logrado acumular un inmenso bagaje de antecedentes que han llevado a la constitución de dos subcomités especializados en percepción remota en el seno de N.A.S. - N.R.C. Uno de estos subcomités está encargado del estudio y aplicación experimental de sensores remotos con propósitos agrícolas.

El primer simposium, efectuado en Febrero de 1962, tuvo por objeto aconsejar a un grupo de técnicos y científicos, alrededor de 10 personas, acerca del desarrollo de trabajos en grupo. Un valioso aporte de ese torneo fue la obtención de una visión de conjunto sobre el status de la tecnología de la percepción remota. Una conferencia especial de tipo secreto se realizó en Marzo de ese año para discutir las posibilidades de uso civil de material desarrollado con fines estratégicos dando lugar a la formación de un comité especializado dentro del subcomite de percepción remota de la N.A.S. - N.R.C. (1).

- (1) Proceedings of the First Symposium on Remote Sensing of the Environment (13-15 febrero 1962), Institute of Science and Technology, The University of Michigan (1964).

El segundo simposium fue realizado en Octubre de 1968 con el propósito de explorar las potencialidades existentes y advertir el grado de probabilidades de un programa dedicado a la exploración directa de la percepción remota usando satélites artificiales. Se dictó un gran número de charlas y se estima que los asistentes fueron unos 1.000, muchos de los cuales dieron cuenta detallada de las investigaciones que estaban desarrollando. Entre los participantes había representantes de instituciones educacionales, gubernamentales e industriales. (2).

El tercer simposium se efectuó en Octubre de 1964 y contó con la presentación de 55 trabajos referentes a experiencias realizadas con sensores remotos, que son un reflejo del gran progreso logrado en el período de dos años que mediara entre el segundo y tercer simposium. Este exitoso encuentro se debió al gran interés manifestado por corporaciones privadas y al estímulo concedido por la American Society of Photogrammetry. (3).

En síntesis, los tres primeros congresos han resultado en la preparación de más de 90 trabajos originales que cubren 1390 páginas ricas en sugerencias y valiosas en cuanto proporcionan un indicio eficaz de las potencialidades técnicas contemporáneas en este campo. Con posterioridad se han desarrollado otras dos reuniones que han sido aún más fructíferas y han permitido ampliar las sugerencias de tipo práctico (1).

Un segundo tipo de actividad de gran interés para los países subdesarrollados tuvo lugar el 30 de enero de 1965. En esa fecha se efectuó una conferencia sobre el uso de artefactos espaciales en la investigación geográfica contando con el patrocinio de la NASA, la rama geográfica de la O.N.R. y el Comité de Geografía de la N.A.S. - N.R.C.

- (2) Proceedings of the second Symposium on Remote Sensing of Environment (15-17 octubre 1962) Institute of Science and Technology, The University of Michigan (1963)
- (3) Proceedings of the third Symposium on Remote Sensing of Environment (14-16 octubre 1964), Institute of Science and Technology, The University of Michigan (1965).
- (1) Proceedings on the Fourth Symposium on Remote Sensing of the Environment (12-17 abril 1965) Institute of Science and Technology, University of Michigan (1966).

La conferencia trabajó sobre la base de plenarios y reuniones de comisiones. Entre los documentos presentados, se destacó una serie de proyectos de carácter científico-técnico destinados a explicar las potencialidades del uso de equipos espaciales. Los encargados de la preparación de tales documentos fueron especialistas de NASA quienes explicaron las características de los equipos disponibles señalando sus limitaciones actuales. Los Geógrafos participantes expresaron sus inquietudes en torno al carácter del material para uso civil y destacaron su interés en el campo espacial. Otro aspecto interesante de los plenarios fue la discusión de un proyecto de Atlas Fotográfico del Mundo (Informe de R.A. Leestma), presentado por NASA y G.I.M.R.A.D.A., que tiene por objeto compilar imágenes de varias zonas del espectro recolectadas por los vuelos tripulados de las series Géminis y Apolo y por el futuro Laboratorio Orbital de Investigación (Orbital Research Laboratory - O.R.L.), proyectado para 1970-1974. Tales imágenes cubrirán partes de la tierra entre los 30 grados lat. N. y los 30 grados lat. S. A nivel de comisiones la conferencia incluyó numerosos foros en que participaron especialidades de diversas ramas de la geografía. Las comisiones abordaron temas referentes a mapeo, procesamiento de datos, geomorfología, uso de recursos naturales, vegetación y suelos, energía y recursos hidráulicos. En el tratamiento de cada tópico se advirtió el interés en ampliar todo proyecto a una escala global permitiendo a otras naciones obtener valiosa información. Hubo también comisiones encargadas del estudio de aplicaciones de sensores remotos en geografía urbana, transporte e intercomunicaciones, población, establecimiento humano y geografía histórica. Todos los foros condujeron a la formulación de proyectos concretos de investigación, particularmente en relación con áreas despobladas, inundaciones, terremotos, cambios estacionales, litorales inaccesibles, modificaciones resultantes de tormentas y sismos, etc. Se enfatizó el valor de la visión sinóptica de los sensores espaciales para la producción de mapas baratos pero de gran precisión a diversas escalas. Además se estima que sería de gran importancia el uso de sensores espaciales para el diseño de mapas que resultan de una serie cronológica de imágenes mostrando así una secuencia de cambios o ciclos anuales como cubiertas de nieve, alteraciones de la vegetación o apariencia compleja del paisaje. Se enfatizó,

además, que algunos vacíos significativos en la cobertura cartográfica de ciertos fenómenos podrían eliminarse. Por otra parte, se recalcó la posibilidad de desarrollar una nueva climatología basada en mediciones practicadas por sensores orbitales para determinar balances termohigrométricos del globo. En general, el uso de la información de origen orbital contribuiría a proporcionar nuevas bases para inferencias acerca del uso de recursos, flujos de transporte y dinámica del crecimiento urbano.

Importante participación ha cabido en la discusión de las potencialidades de la percepción remota a los oceanógrafos quienes celebraron un simposium de 5 días en Agosto de 1964 en la Woods Hole Oceanographic Institution de Massachusetts (*). Se advirtió que observaciones horizontales continuas mediante sensores remotos montados en satélites proveerían información totalmente novedosa acerca de las características físicas y químicas del mar y de las mareas así como indicios inherentes a su propagación; sería posible también obtener excelentes referencias de surgencias y tsunamis. El reconocimiento y clasificación de la superficie expuesta de masas de aguas y de sus "fronteras interfaciales" o "frentes" parecería también viable con el empleo de sensores remotos. Se sugirió, además, un método fotométrico para el mapeo de concentraciones de clorofila y el empleo del radar para obtener una descripción completa del estado del mar en un momento dado.

En Abril de 1965 la reunión anual de la Asociación de Geógrafos de los Estados Unidos (American Association of Geographers A.A.G.) contó con una comisión dedicada al análisis de las potencialidades del uso de información espacial en geografía bajo la dirección de Robert H. Alexander de la O.N.R.

(*) Gifford C. Enving editó las conclusiones de este importante torneo (Oceanography from Space: Proceedings of the Feasibility of Conducting Oceanographic Exploration from Aircraft, Manned Orbital and Lunar Laboratories. Ref. N° 65-10, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Mass., 1965).

En diciembre de 1965 la Asociación para la Promoción Científica de Estados Unidos (American Association for the Advancement of Science - A.A.A.S.) organizó su primer simposium sobre percepción remota del ambiente como parte de su reunión y fue dirigido por el geógrafo James P. Latham.

Con posterioridad, en los Congresos de 1966, 1967 y 1968 de la A.A.G. se han constituido comisiones especializadas para el tratamiento de temas relativos al uso de sensores remotos sin perjuicio de que otras comisiones hayan contado con la presentación de trabajos en que ha hecho uso de sensores remotos.

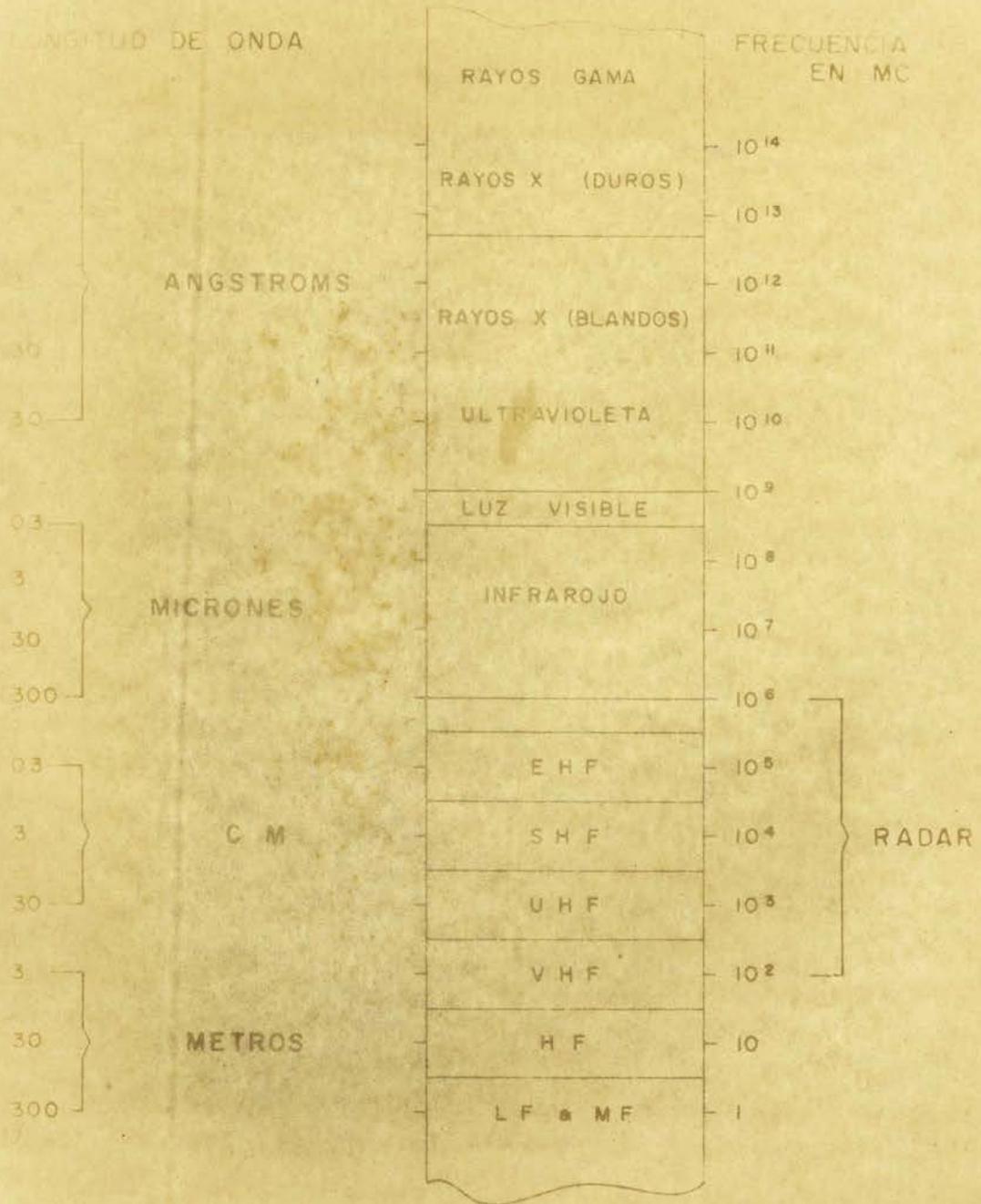
C. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA
PERCEPCION REMOTA DEL AMBIENTE
Y SU TRASCENDENCIA EN LA INVESTIGACION
SOBRE RECURSOS NATURALES.

1.- Principios.

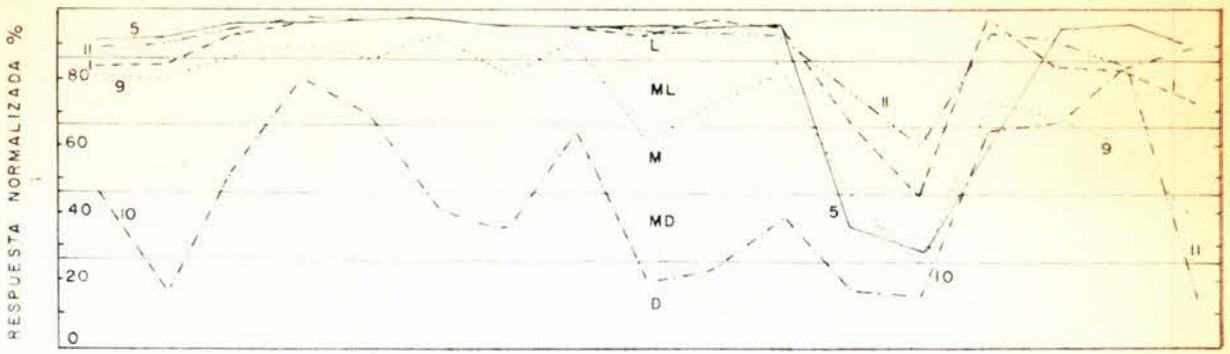
En la Introducción se señalaron los principios fundamentales de los sensores remotos. Ya se ha indicado que ellos pueden ser activos o pasivos y que se distinguen porque se basan en la detección de energía electromagnética irradiada o reflejada por los objetos en estudio, así como en la medición de aspectos magnéticos y gravitacionales.

Se puede sostener que todo cuerpo con una temperatura superior a 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 en el universo provisto que se disponga de un detector adecuadamente sensible como para interceptar una porción de la radiación". (1). Del mismo modo, como todo objeto posee masa, resulta posible medir el campo de fuerza que le distingue si se cuenta con un detector adecuado. En este informe se concederá importancia al primer tipo de sensores, estos se basan en su habilidad para muestrear información dentro de alguna porción del espectro electromagnético. Las distintas clases de radiación se distinguen en función de los detectores que se usen y de las distintas longitudes de onda. (Ver figs. 1, 2 y 3). 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. Es necesario, sin embargo, advertir

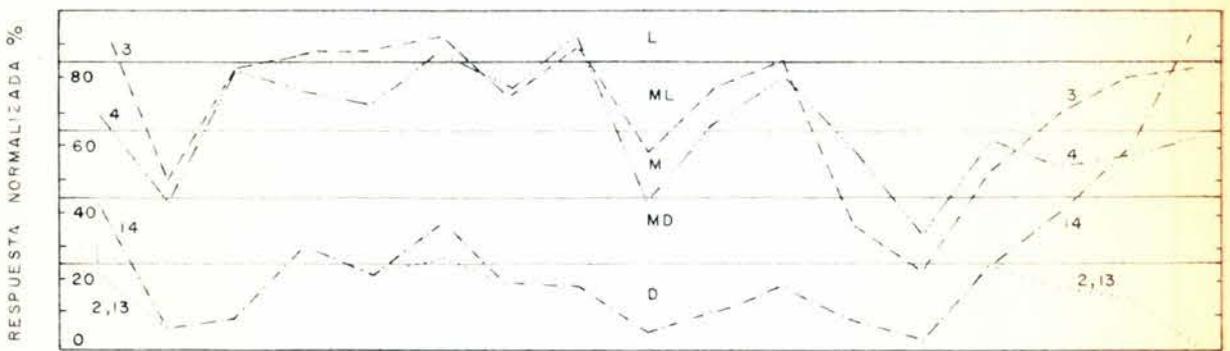
- (1) Dana Parker, "Some Basic Considerations Related to the Problem of Remote Sensing", en Proceeding of the First Symposium on Remote Sensing of Environment (Ann Arbor, U. of Michigan, 1962. Nonn 1224 (44), p.8.



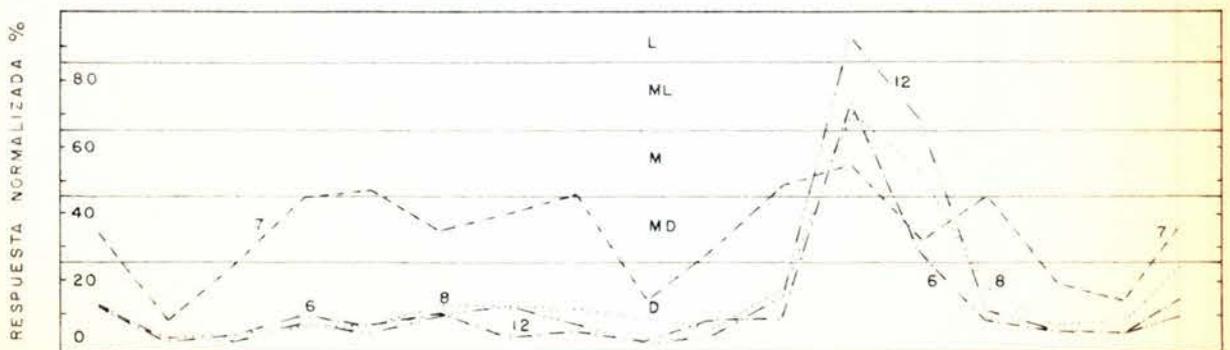
"SEÑALES" DE RESPUESTAS ESPECTRALES PARA DIVERSOS FENOMENOS DE SUPERFICIE



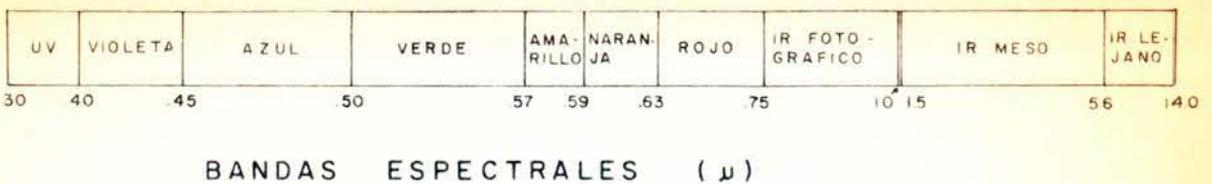
(a) UNIDADES DE SUELOS Y ROCAS



(b) EFECTO DE LAS PRACTICAS AGRICOLAS



(c) VEGETACION



BANDAS :

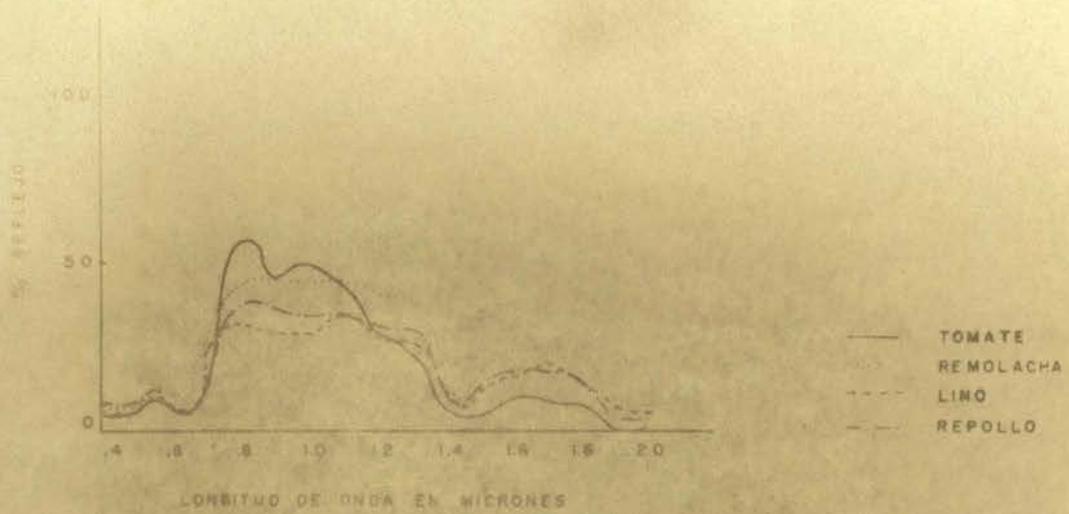
- L - CLARO
ML - SEMI CLARO
M - MEDIO
MD - SEMI OSCURO
D - OSCURO

CURVAS :

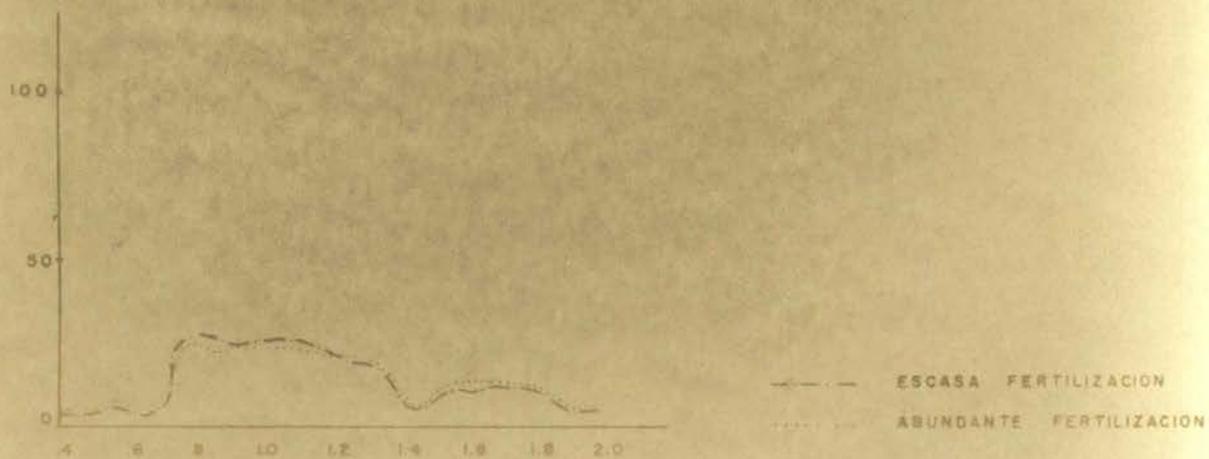
- 1 - Loess
2 - Campo arado en el momento del vuelo. Suelo de till glacial en cerros.
3 - Campo arado en la mañana del día de vuelo. Suelo de till glacial en cerros.
4 - Campo arado recientemente. Suelos de till glacial en cerros.
5 - Arenisca.
6 - Campo con trigo invernal. El año anterior estuvo plantado con maíz.
7 - Empastadas. Roca fundamental cercana a la superficie.
8 - Empastadas. Roca fundamental profunda.
9 - Suelos de till glacial de pendientes erosionadas.
10 - Area deprimida.
11 - No identificado
12 - Campo con trigo invernal. Plantado dos semanas antes que 6. Plantado el año anterior con pasto.
13 - Campo arado en el momento del vuelo. Suelo arenoso de planicie inundable.
14 - Campo arado en la mañana del día del vuelo. Suelo arenoso de planicie inundable.

REFLEJOS ESPECTRALES DEL TOMATE, REMOLACHA, LINO Y REPOLLO

Fig. 3



REFLEJOS ESPECTRALES DEL TRIGO EN CAMPOS DESIGUALMENTE FERTILIZADOS



que existen porciones del espectro en las que ciertas interferencias atmosféricas pueden dar lugar a la formación de un medio absorbente que dificulta la operación del detector. Como resultado de las interferencias atmosféricas las zonas del espectro quedan divididas entre aquellas en que el trabajo se dificulta y aquellas que se denominan "ventanas de observación".

2.- Sensores Ópticos.

Las cámaras fotográficas ofrecen la mejor "resolución" espacial de todos los sensores remotos disponibles en la actualidad por 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 han podido lograr "Resoluciones" de hasta 30 cms., pero considerando que el grado y monto de información que se harían disponibles 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. Por otra parte, las cámaras en actual uso en los satélites de predicción del tiempo tienen una "resolución" muy pobre.

2.1.- 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 claro que permita el paso directo de la luz hacia el film lo cual resulta en grandes variaciones de escala. Se considera que estas cámaras son útiles en la detección de tipos de cultivo, áreas límites de playas, dunas, hielos, etc.

2.2.- 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 (desde 0.38 micrones) y del ultravioleta (hasta 0,9 micrones). Fairchild ha diseñado una cámara tetralenticular e Iteck ha producido una con 9 filtros. Con el juego de imágenes que presentan distintos tonos resulta posible para el fotointérprete determinar un tipo de "señal tonal" para cada objeto, logrando un cúmulo de información que sería imposible obtener con fotos convencionales. Distintos especialistas pueden descubrir diferentes elementos usando las diversas imágenes. Entre las materias susceptibles de estudio con un equipo de multibanda se pueden indicar formaciones geológicas, ganado, áreas de pastoreo, bosques y vegetación sub-acuática. La Universidad de California ha empleado exitosamente varias cámaras de multibanda para gran variedad de estudios, desde ganado hasta vegetación forestal. 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 (por ejemplo, los últimos mapas de uso de la tierra de Estados Unidos fueron confeccionados con información que tenía hasta diez años de antigüedad).

2.3.- 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 de 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 - i.e. 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 en cuestión; estas pautas serían enviadas a tierra. De esta forma, todo el equipo espacial serviría para establecer un control sobre situaciones en desarrollo. Un sistema que está en etapa experimental, pero que promete grandes potencialidades ha sido diseñado por el laboratorio Científico de la U.S.A.F., en Cambridge, Mass., y consta de una cámara de multibanda con 9 lentes, una serie de cámaras asociadas para referencia de colores, una cámara cartográfica, un espectrómetro dual y una cámara para registrar la luz. Este complicado equipo usaría un método perfeccionado de barrido y las imágenes serían sometidas a técnicas de ampliación y de revelado fotográficos. Además en forma paralela, se procesarían los datos procedentes de estudios controlados efectuados en terreno.

Otro tipo de cámara consiste en una suerte de telescopio de muy alta "resolución", con una longitud focal de alrededor de dos metros, que permitiría la detección de ciertos fenómenos muy específicos.

3.- Fotografía Espacial y Medios Transportadores.

Además del uso de aviones convencionales y readaptados se emplean actualmente helicópteros, aeroplanos especiales, aviones-cohete (x 15) y satélites para el transporte de sensores remotos. Se incluye, a continuación, información relativa a las experiencias tenidas con los satélites Tiros y Nimbus.

3.1.- Las Experiencias de los Satélites Tiros y Nimbus.-

Es posible definir dentro de límites muy amplios la naturaleza de la información de terreno registrada por las fotos del grupo de satélites Tiros y Nimbus. Se puede, en ellas distinguir con bastante facilidad, a través del tono, textura y asociaciones de características, una serie de elementos sin que se requiera un conocimiento previo del área a la que pertenecen. Entre estos elementos se encuentran: grandes cuerpos de agua, deltas y planicies de inundación, playas de barrera y del litoral, desiertos de arena y bolsones, cuencas cerradas de evaporación, grandes dunas self (con más de 50 Kms. de largo), cinturones orogenéticos Cenozoicos, etc. En general, resulta factible obtener un cuadro relativamente completo de la topografía y el paisaje de las zonas áridas. Áreas con albedos diferentes pueden percibirse con cierta nitidez y por ello puede señalarse que resulta posible distinguir diversas formaciones vegetacionales, presencia de nieve y hielo, etc. Se estima que con el sistema Tiros - Nimbus se lograría obtener una cobertura fotográfica que contribuya al mejor conocimiento de ciertas regiones poco exploradas de las altas latitudes al menos en lo que dice relación con glaciología y geología estructural.

También se considera que el mismo sistema es útil para las latitudes medias en que se presentan áreas semi-áridas donde se pudiera aprovechar el alto grado de reflejo y el fuerte contraste que ofrecen las superficies aluviales desprovistas de vegetación.

Por otra parte, una de las limitaciones más serias del sistema Tiros - Nimbus radica en que las imágenes no permiten el reconocimiento efectivo del relieve de las áreas húmedas o subhúmedas, pues el único criterio importante para el reconocimiento de las grandes estructuras orográficas es la existencia de nublados persistentes. Además, algunos principales lineamientos - fallas, líneas de fractura - son distinguibles sólo cuando ellos separan dos superficies fuertemente contrastadas.

Generalmente los afloramientos de roca resultan de difícil identificación. La cobertura vegetal es imposible de distinguir con el solo uso de las fotos pues ella revela todos los tonos de gris resultando fácil confundirla con formas estructurales. Por otra parte, la nieve, el hielo, las nubes y las playas revelan un tono y una textura similares y resultan distinguibles sólo indirectamente por la duración de su presencia en la superficie, su forma y angulosidad periférica. Aún más, es necesario tener precaución al analizar los márgenes de las fotos pues presentan distorsiones.

A pesar de sus limitaciones, los satélites Nimbus y Tiros han sido empleados para detectar fenómenos tales como presencia de témpanos en el mar y la temperatura del contorno de la corriente del Golfo de México. Estas mediciones fueron practicadas mediante el empleo de detectores infra-rojos de diseños bastante sencillos. Estos registradores técnicos de alta precisión podrían reemplazar equipos mucho más costosos y menos eficientes que actualmente se emplean en la medición de la tibieza del océano desde barcos y resultarían de considerable valor para las líneas navieras y flotas pesqueras.

3.2.- El Uso de Satélites e Imágenes Fotográficas Espaciales en la Investigación Geográfica y Geológica.

Advirtiendo las limitaciones del sistema Nimbus-Tiros, los geógrafos asistentes a la conferencia de Houston (ver Sección B) coincidieron en señalar que sería altamente deseable contar con un sistema multiespectral moderno que trabajara en las más amplias áreas del espectro electromagnético. Como condiciones mínimas se advirtió que un satélite geográfico debería estar equipado con una cámara fotográfica convencional capacitada para fotografiar en las bandas visibles y semi infra-roja y además disponer de un sistema que permitiera la obtención de información aún con nublado total (radar). Los geógrafos estuvieron de acuerdo en criticar el actual sistema de scanning (1) usado por los satélites Tiros y Nimbus debido a que presentaban serios problemas de reducción de la calidad de la información. En forma alternativa plantearon la posibilidad de desarrollar un método de recuperación de la película original que garantizara la preservación del material informativo. Se indicó además que el proce

(1) Esta expresión suele ser traducida como "Barrido".

samiento de datos habría de integrarse con el objeto de obtener una gran discriminación de características asumiéndose que datos de "tipo multibanda" se encontrarían disponibles. Tres métodos de integración y discriminación se consideraron factibles: (1) óptico fotográfico, desarrollado por ITEK Corp. para su cámara de 9 lentes. (2) electrónico directo y (3) numérico estadístico.

Se estima que un satélite en órbita polar estaría capacitado para cubrir la totalidad de la tierra en corto tiempo, de este modo la confección de mapas e inventarios generales a escala mundial sería una tarea simple. Sin perjuicio de este enfoque global sería posible desarrollar estudios de reconocimiento a nivel local y regional especialmente en conexión con proyectos relativos a catástrofes y análisis de tráfico urbano. Las ventajas del uso de información espacial para la confección de inventarios generales son obvias:

(1) Permitirán cubrir grandes espacios de terreno empleando por primera vez, normas standard para toda el área de estudio.

(2) La gran superficie cubierta, así como la pequeñísima escala de la imagen provista por el satélite, permitirían una generalización óptica directa de la superficie terrestre que no ha sido posible obtener hasta ahora. Se estima que una cobertura tan global contribuiría a la solución de conflictos limítrofes relativos a la zonación de grandes entidades geográficas. Al confeccionar mapas mundiales basados en esta información global sería posible ir ampliando escalas a partir de una tan pequeña como 1:10.000.000 alcanzando hasta 1:250.000. Estas condiciones permitirían superar el largo e incompleto proyecto de Mapa Internacional del Mundo a escala 1:1.000.000.

Un procedimiento similar podría seguirse para la producción de Mapas temáticos sobre tópicos tales como geología, hidrología, glaciología, vegetación y uso de la tierra. Estas características han sido objeto de numerosos estudios a nivel regional por medio de fotografías aéreas, por lo que existe ya una metodología que podría ser adaptada para el empleo de fotos y otros tipos de imágenes espaciales. Por otra parte, cierta información que aún no ha podido obtenerse de fotos aéreas, y que ha tenido un rol menor en su interpretación, es la distribución mundial de sistemas de comunicaciones y análisis de flujo

de transporte. Además, se abren posibilidades totalmente novedosas para la climatología pues, a diferencia del sistema actual de generalización de observaciones efectuadas sólo en algunos puntos, será posible contar con una cobertura continua. Las variables climáticas serían mapeadas por medio de técnicas convencionales de fotointerpretación o, aún mejor, usando mediciones de radiación e imágenes lo cual permitiría la computación de temperatura, nubosidad, agua en suspensión en la atmósfera y turbidez atmosférica. La repetición de cobertura hará posible el estudio de cambios estacionales - de superficies de agua, cubiertas de nieve y hielo, manto vegetacional, elementos climáticos - así como de tendencias.

Diversos geólogos han experimentado exitosamente con fotos espaciales advirtiendo sus ventajas sobre las aéreas. Un primer aspecto de interés consiste en que este material no implica una duplicación de los antecedentes obtenibles mediante fotos aéreas. En efecto, las plataformas orbitales permiten gran cobertura espacial sobre terrenos tan vastos que los aeroplanos no logran cubrir, contribuyendo, de esta forma, a la configuración de una síntesis regional más amplia que la proporcionada por mosaicos aéreos que ni siquiera pueden estudiarse estereoscópicamente. Por otra parte, las fotos espaciales superan algunas de las anomalías técnicas de las aéreas, en cuanto a variaciones de tono, circunstancia ésta que permite la detección de minerales.

Otra ventaja radica en la rapidez con que se efectúa un levantamiento haciendo factible su repetición - a bajo costo lo que es deseable para comprender mejor ciertos procesos, como los que conducen a la mineralización.

Se ha podido constatar que fotos oblicuas en blanco y negro tomadas desde satélites son de utilidad en el reconocimiento de grandes unidades estructurales. Una serie de fotos de este tipo cubren un área de 20.000 Hás. en el N. de Níger permitiendo distinguir las rocas metamórficas e ígneas fracturadas por granito, que subyacen al escudo y son ricas en estaño, tungsteno y otros minerales; estas fotografías han permitido diferenciar el modelado de las rocas cristalinas de las zonas ricas en sulfatos de cobre y advertir que la falta de agua del área es una seria limitante para sus potencialidades mineras. Wobber (1968) ha señalado que las cámaras de uso espacial actualmente

disponibles "permiten el mapeo geológico de calidad standard a escala 1:250.000 reuniendo las especificaciones geodésicas necesarias; las cámaras panorámicas son recomendables para estudios de alta "resolución" que, a pesar de ocasionar distorsiones y de aumentar las dificultades de mapeo, son susceptibles de rectificación". El empleo de fotografías espaciales en geología fue prologado por el análisis de las fotos captada por cohetes lanzados desde White Sands Proving Grounds y ha sido continuado por las imágenes oblicuas del satélite meteorológico Nimbus en que sólo algunos elementos de gran magnitud resultan reconocibles debido, en parte, a su escasa "resolución fotográfica (1.800 mts.). Las fotos de la serie Géminis, a su vez, están limitadas por la extrema oblicuidad de la imagen y por los cambios de escala derivados de las variaciones de altitud orbital. Por otra parte, se producen falsos tintes distorsionantes de índole atmosférico que limitan las potencialidades de las películas en color, defectos que eventualmente podrían corregirse mediante el uso de filtros adecuados. Sin embargo, la atenuación de la influencia atmosférica reduce el contraste entre objetivo y fondo y degrada la "resolución" (que varía entre 30 y 150 mts. para cada foto semi-vertical) lo que puede deberse al no uso de cámaras aéreas,

A pesar de las limitaciones señaladas, Wobber ha confirmado que es factible obtener información hasta ahora incompleta o desconocida directamente de las fotos de la serie Géminis con lo que se abriría la posibilidad de incrementar la velocidad y precisión del analista a través de la identificación de estructuras litológicas y geológicas. Es posible agregar que las imágenes en color que se han obtenido pueden integrarse efectivamente con fotos aéreas pancromáticas y datos de campo. Se ha podido señalar que, a pesar de sus imprecisiones métricas, las fotos Géminis son de utilidad como herramienta cartográfica semi-cuantitativa, que puede ser empleada para reactualizar mapas geológicos a gran escala (Mapa Geológico de Africa, 1:5.000.000) o como fotomapas generalizados de pequeña escala. Estas fotos facilitan, además, los estudios técnicos pero no son de gran eficiencia para la diferenciación entre rocas metamórficas e ígneas. Otro aspecto de interés es que las experiencias tenidas con las imágenes de la serie Géminis indican que en las áreas tropicales de densa vegetación será necesario el uso de sistemas de

radar para la detección de recursos.

Entre otros recursos potenciales de las fotos de satélites se ha señalado la provisión de una rica síntesis informativa de los ambientes marinos de las plataformas continentales proporcionando datos relativos a corrientes costeras, población pesquera, etc.

3.3.- Las Fotografías Espaciales y América Latina.- Dentro del conjunto de fotos espaciales, América Latina aparece reiteradamente. Las primeras imágenes fueron captadas por J.W. Young desde el Géminis III y en ellas aparece, en colores, la zona fronteriza comprendida entre los estados de California, Arizona, Baja California y Sonora. Estas fotos fueron tomadas desde 160 Kms. de altura y cubrían áreas de unos 250.000 Kms² cada una, mientras la nave se desplaza a 8 Kms/seg.; en veinte segundos se tomaron cuatro fotografías y el satélite recorrió 160 Kms. hacia el E. En una sola de estas láminas aparecen la desembocadura del río Colorado, la laguna Salada, el Salton Sea, el Imperial Valley y los canales All American y Alamo. El vuelo espacial Géminis IV, que pasó casi cien hrs. en el espacio, representó un caudal fotográfico colosal; entre otras, se destaca una imagen del delta del Colorado en que es fácil distinguir áreas de depositación, y la gran falla de San Andrés, al mismo tiempo que se advierte la diversidad geológica que diferencia Baja California de Sonora. El Géminis V proveyó, en sus ocho días en órbita, un rico arsenal de fotografías tomadas a 320 Kms. de altura, cubriendo México, América Central, las Antillas y parte de América del Sur pudiéndose apreciar en éstas la Cordillera de los Andes, el Altiplano y la zona del lago Titicaca. El Géminis VII, que permaneció 14 días en el espacio, permitió tomar fotos muy nítidas de Hispaniola, Torreón Monterrey, Tehuantepec, Oaxaca, etc.; parte del Brasil fue fotografiada también en I.R.

El vuelo de mayor importancia, desde el punto de vista de las fotografías aéreas de Sudamérica fue el Géminis IX (3-6 de junio de 1966). El Centro de Control de Misiones de Vuelos Espaciales de Houston, Texas, recibió desde un satélite meteorológico la información que, por rara circunstancia, América del Sur estaba poco cubierta por nubes y ordenó a la tripulación del Géminis IX prestar atención al fenómeno; la nave atravesó el continente en dirección S.E. y tomó fotos en colores de alta calidad abar

cando un área de más de 2.000.000 de Kms.2, desde el golfo de Guayaquil hasta las planicies del Gran Chaco. El 75% de la superficie del Perú fue fotografiada en sólo 4 minutos (en 50 años aerofotografía sólo se había cubierto 25% de esa área). Una de las láminas orientada desde NE a SW permite ver partes del Océano Pacífico y de Perú, Argentina y Chile, además de mostrar el lago Titicaca, los sitios de La Paz, Arequipa e Iquique y el Salar de Uyuni. Otra foto tomada desde una altura de 275 Kms., muestra el Depto. de Ancash, en Perú y orientada de SW a NE permite distinguir la cordillera Blanca con el nevado Huascarán, el río Santa y la gran avalancha de Enero de 1962, además del sitio de Chimbote. Otra imagen muestra la costa de Venezuela antecendida por el archipié lago de las Roques y la isla Orchila, a 275 Kms. de Caracas, la cual aparece cubierta por nubes.

El Géminis X desarrolló una misión de especial importancia meteorológica tomando fotos de la cuenca del Amazonas, del macizo guayanés y del área costera comprendida entre el Orinoco y el Amazonas. La serie Géminis alcanzó su culminación con el navío XII que, en 4 días obtuvo más de 500 vistas en colores, muchas de ellas del Norte de México. Estas láminas son valiosas para la obtención de información oceanográfica y acerca de las migraciones de larvas de camarones. En menos de 4 minutos fue cubierta el área comprendida entre Tampico y Florida. En diez segundos se captaron dos láminas que muestran desde Yucatán a Luisiana, apareciendo el valle del río Grande, Torreón, Saltillo, la presa Falcón, Mérida, Veracruz, Puebla, Ciudad de Guatemala y Tegucigalpa.

En síntesis, se obtuvieron casi 600 fotos de América Latina durante todo el programa Géminis. Estas fotos son limitadas en utilidad y se reconoce que ellas no son más que un modesto comienzo.

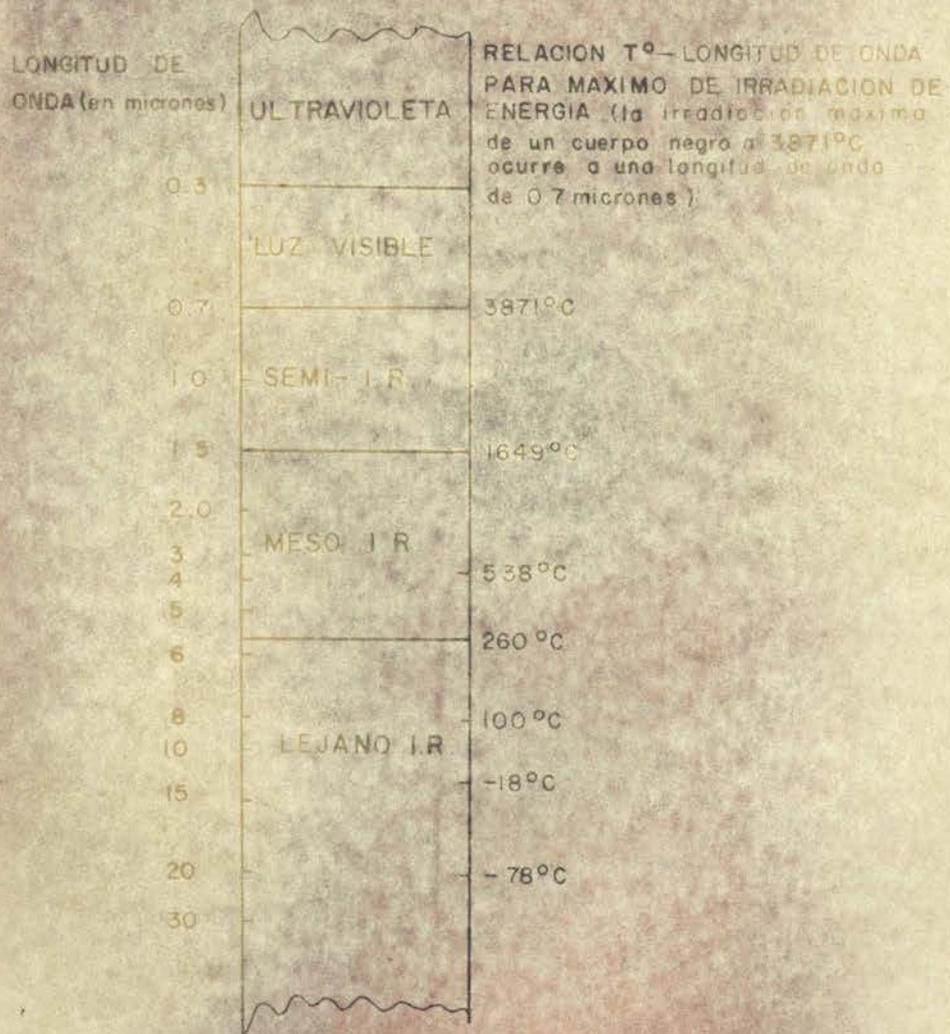
4.- Sensores Infra-Rojos.

El término I.R. se refiere a aquella porción del espectro electromagnético ubicado entre longitudes de ondas visibles y las de radar. (Ver. fig. 4). 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 onda 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 dentro de éstas "ventanas" si es que se desea una imagen nítida por un sistema infrarojo desde alturas razonables. (Ver fig. 5). Estas "ventanas" varían por efecto de diferencias de humedad y contenido de partículas sólidas de la atmósfera, velocidad del aire, etc. Estos elementos alteran en general la fidelidad geométrica de la representación.

Es interesante advertir que, hasta la fecha, ha habido mucho mayor preocupación por las potencialidades del I.R. que del U.V. Ha existido un interés creciente en el uso de I.R. dentro de diversas disciplinas relacionadas con la prospección de recursos y los procesos ecológicos; las investigaciones practicadas han ocasionado un notable avance en tecnología e instrumentación, señalando la necesidad de recolectar información básica de reflectividad de emisión para poder reconocer las distintas "señales". Por otra parte, las fotos empleadas para divulgar el uso de imágenes en I.R. revelan una tendencia a eliminar el carácter secreto que originariamente distinguía a estos materiales.

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 energía semi-infraroja reflejada por objetos desde la

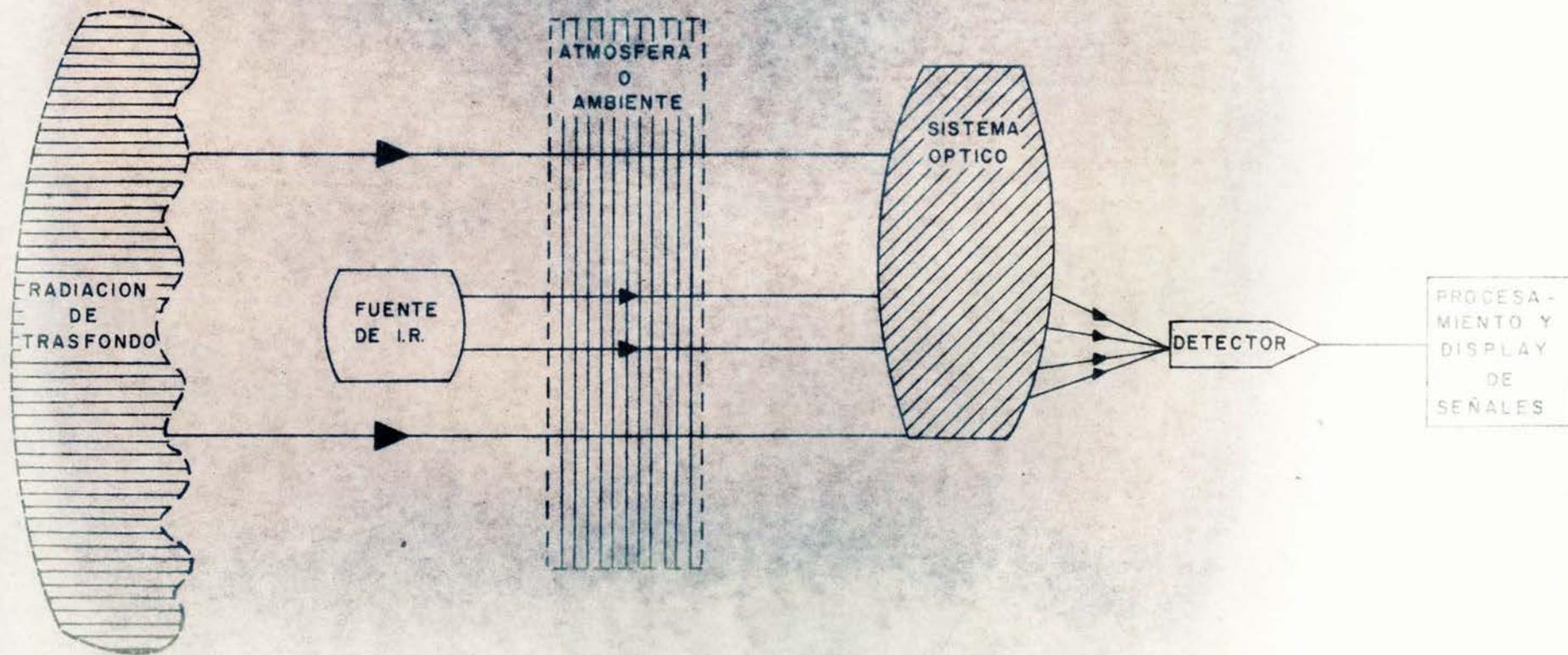
CAMPO DE INFRA-ROJO



SISTEMA I.R. GENERALIZADO

Fig 5

(Hackforth, 6, p. 23)



tierra. Se denomina semi-infraroja 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 infra-rojas cuya detección requiere de otro sistema empleándose para ello instrumentos más sensibles, el scanner o "mapeador" infra-rojo. La División de Servicios Aeroespaciales de Bendix introdujo el primer "mapeador" infra-rojo aéreo hace unos dos años (Mayo 1966). Este está disponible comercialmente a un costo de US\$ 40.000. Hasta la fecha se han vendido o entregado en concesión más de doce "mapeadores" y se estima que se podrán colocar otros 100 en los Estados Unidos e igual cantidad en el extranjero dentro de un corto tiempo. El corazón del "mapeador" es un detector de tamaño no superior al de una cabeza de alfiler hecho de un material similar al antimonio de indio. Para sensibilizarle a débiles señales de energía infra-roja, el detector es enfriado a muy bajas temperaturas con nitrógeno líquido. 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. El "mapeador" Bendix puede detectar diversos fenómenos, desde contornos de incendios forestales hasta contaminación de las aguas. x

4.1.- Uso de I.R. en Geología.- Wobber (1968) ha señalado que "mientras el mapeo de reconocimiento geológico es la principal contribución de los trabajos orbitales, empleando la banda visible, a la minería, una segunda e igualmente crítica contribución es la de refinación de 'a información...', por medio del uso de sensores infra-rojos" (p.30). A causa de la condición sensible al calor de los sistemas I.R., se estima que ellos se prestan admirablemente para resolver problemas relativos a las ciencias de la tierra. Ciertos fenómenos geológicos ilustran cualidades interesantes cuando son "mapeados" por sensores I.R. Así por ejemplo, se ha usado un radiómetro de "barrido" I.R. para localizar anomalías termales que permiten acelerar la detección de sistemas de fallas o cuerpos ígneos enfriados, proveyendo así una clave para la prospección minera.

Experiencias tenidas con película infra-roja mediante el empleo de una cámara Hycon desde un avión cohete X-15 indicaron sus ventajas para el reconocimiento geológico, pues las diferencias tonales proveen 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 infra-roja a la que no es sensible la película fotográfica convencional.

Algunos técnicos han estimado que resulta casi impracticable el desarrollo de una "cámara" capacitada para verter energía termal directamente a la película pues se requeriría de equipos refrigerantes especializados. Es posible, sin embargo, obtener fotos indirectas mediante el "mapeador" óptico-mecánico que emplea un detector del tamaño de una cabeza de alfiler cubierto por una capa de material sensible al infra-rojo (germanio con cobre u oro). Este equipo puede ser enfriado con helio o nitrógeno líquido (el resto del proceso ya se ha descrito).

El "mapeador" puede proporcionar imágenes de multibanda desde el ultravioleta al I.R. La detección de intensidades térmicas relativas provee un buen indicador para la determinación de áreas volcánicas y zonas de fallas. Por otra parte, el sistema I.R. también contribuye a la fijación de las líneas demarcatorias de formaciones que datan de diferentes edades geológicas. Así, por ejemplo, imágenes I.R. han permitido identificar zonas de contacto entre lavas de distintas edades. Aún más, la estructura de drenaje que no aparece con nitidez en las fotografías comunes se hace manifiesta en I.R. Por último, ciertos elementos geológicos y topográficos también han podido inferirse de las imágenes I.R. del satélite Nimbus; así, se han identificado ciertos elementos como el valle de la Muerte y el Gran Cañón, a causa de las variaciones térmicas coincidentes con las elevaciones de terreno, e incluso se ha podido especular en algunas áreas acerca de las diferencias en contenido de humedad del suelo.

4.2.- Uso de I.R. en Estudios de Vegetación.- En la porción 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 sobre

imágenes aéreas infra-rojas. Con referencia al tipo y estado de la vegetación que se presenta en algunas áreas se ha podido establecer diferencias entre territorios bien y mal drenados.

Ya se ha indicado que un sistema termal infra-rojo ha sido desarrollado por Bendix Corp. y se encuentra en uso por parte del Servicio Forestal de Estados Unidos. Un equipo similar está siendo usado por científicos de la Universidad de Michigan para seguir la pista de los animales migratorios en las noches.

Con película I.R. es posible detectar condiciones fitosanitarias. En efecto, con una cámara Hycon montada en un avión cohete X-15 se fotografió el desierto de Mojave en California; la cámara usó película Ektachrome, que es sensitiva a la porción semi-infra-roja del espectro, para mostrar características superficiales no detectables con fotografías convencionales: la vegetación sana apareció en rojo y la seca en café. Por otra parte, cerca de Davis, California, se fotografió áreas agrícolas siendo posible distinguir aquellas regadas. El "mapeador" Bendix podría usarse no sólo para determinar las áreas afectadas por incendios forestales, sino como un medio para dar alarmas con el objeto de alertar a los guardabosques para aislar los árboles que han sido afectados por rayos u otros factores conducentes a grandes incendios. El mapeador puede también delinear los contornos de incendios que escapan al control pues puede mapear a través del humo y la bruma. El Servicio Forestal de Estados Unidos detectó en 1967 más de 200 fuegos accidentales en estado incipiente con mapeadores aéreos. Recientemente H.R.B. Singer ha desarrollado tres "mapeadores" infra-rojos que, entre otras cosas, podrían localizar fuegos sumergidos bajo rudas de escorias. Es así que los satélites provistos de "mapeadores" podrían montar una celosa guardia sobre vastas áreas. La "resolución" de los "mapeadores" disponibles para uso civil es todavía muy pobre para muchos propósitos. El mapeador Bendix, por ejemplo, no podría localizar un incendio forestal sino hasta que sus comienzos ya estuvieran declarados.

El I.R. ha sido trabajado intensamente por el Northern Forest Fire Laboratory del Servicio Forestal de Estados Unidos en Missoula, Montana. El laboratorio ha mapeado con gran detalle los períodos anuales de incendios desde

1963 con el objeto de acumular información adecuada para futuras contingencias. Se ha podido efectuar además una serie de estudios muy detallados de vegetación.

El sistema termal infra-rojo más exitoso es aquél que funciona en la banda de 1 a 15 μ , siendo particularmente útil para estudios de hojas y de su estructura, así como para el análisis de los factores de intercambio de energía y de temperatura de las hojas. Se estima que, posteriormente, el I.R. serviría para análisis de radiación emitida y reflejada, intercambio energético entre planta y ambiente y geometría de la cubierta vegetal.

4.3.- I.R. 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. Barnes Engineering Co. ha confeccionado un instrumento para la medición horizontal de las distribuciones térmicas en la atmósfera y la detección de turbulencias de aire claro (clear air turbulence, CAT) que, de conformidad con la información disponible, se asocian con discontinuidades térmicas del orden de los 3°C a 5°C. Un interferómetro con un volante especial ha sido desarrollado para la indicación de alertas meteorológicas y para estudios científicos de la atmósfera desde aeroplanos y satélites. Otros métodos de detección de CAT están siendo estudiados, por el Instituto de Tecnología de la Universidad de St. Louis, con el objeto de detectar la generación de eddies en turbulencias de aire claro usando percepción acústica. El laboratorio de Gran Altura de la Universidad de Michigan está desarrollando un programa de vuelo de globos para probar los instrumentos de medición de radiación de los satélites Tiros y Nimbus (el radiómetro de cinco canales de Tiros y el radiómetro de resolución media o M.R.I.R., un interferómetro infra-rojo y un espectrómetro). Cientistas de la atmósfera, sin acceso a equipos de investigación aérea, están desarrollando una multiplicidad de pruebas con sensores infra-rojos en Estados Unidos, apoyándose en el Centro Nacional para la investigación de la atmósfera (N.C.A.R.).

El satélite Nimbus lanzado el 28 de agosto de 1964 contaba con un detector infra-rojo para acumular información respecto del tiempo atmosférico sobre una base continua

(24 horas diarias). En su corto período de operación, el satélite obtuvo valiosa información sobre la cubierta de nubes de la tierra así como de su estructura. Usando un radiómetro infra-rojo de alta resolución (HRIR) el satélite Nimbus logró obtener una imagen nocturna de calidad comparable a las fotos del satélite Tiros. El sistema estaba capacitado para determinar la altitud de las nubes agregando una perspectiva tri-dimensional a la imagen.

4.4.- El Uso de I.R. en la Detección de Fenómenos Subterráneos.- Se han podido constatar las condiciones especiales del I.R. para detectar ciertos tipos de fenómenos subterráneos que están relacionados a elementos de su superficie. Se estima, en este sentido, que los sistemas de I.R. serían de gran utilidad en investigaciones arqueológicas y mineralógicas. Sin embargo, se considera que podrán obtenerse resultados aún más exitosos con el uso de microonda (ver acápite 6 de esta sección).

4.5.- El Uso de I.R. en Hidrología.- Las imágenes I.R. están siendo usadas para examinar detalles muy finos de drenaje que pueden ser oscurecidos por el follaje forestal cuando se usan fotografías convencionales. Esta situación se debería al comportamiento térmico diferente del agua y la vegetación. Esta particularidad permite que el I.R. sea de utilidad en el mapeo preciso de fenómenos hidrográficos no observables por métodos ópticos. Por otra parte, el I.R. es de gran utilidad en la detección de áreas de crianza de insectos (aguas estancadas, de cursos intermitentes, o en medio de sectores de vegetación intensa). Líneas de costa y otros aspectos del contacto de aguas y tierras generalmente aparecen con mayor nitidez en I.R. que en películas pancromáticas proporcionando gran ayuda en los estudios oceanográficos conducentes al mapeo de fenómenos costeros.

Resulta también factible usar imágenes I.R. en la determinación de gradientes térmicos en los cuerpos de agua lo cual se logra mediante el análisis de las sombras de gris sobre la imagen. Las sombras de gris son indicadores de diferentes temperaturas las cuales pueden relacionarse con su procedencia o con la acción del viento a través de su dirección y velocidad. Estas condiciones que presenta el I.R. serían útiles para resolver ciertos problemas tales como contaminación de las aguas y su grado de sedimentación.

Los sistemas de riego aparecen con gran nitidez y sería relativamente fácil determinar con un detector I.R., la eficiencia de ellos. También podría evaluarse el efecto de ciertos sistemas de riego sobre los diversos tipos de suelos. Eventualmente sería posible precisar la cantidad exacta de agua necesaria para producir la correcta humidificación del suelo para lograr un óptimo crecimiento vegetal. Por otra parte, el sistema I.R. ha sido de utilidad en la detección de recursos hidráulicos de superficie o cercanos a ella.

4.6.- Otros Usos del Sistema I.R.- El sistema I.R. ha demostrado su eficiencia para detectar niveles de almacenamiento en elevadores de granos, lo cual, mediante una serie de imágenes ordenadas en forma sucesiva, permitiría conocer no sólo la producción de una cierta región, sino también los montos de embarques desde y hacia esa área. Otra aplicación del sistema I.R. dice relación con inventarios de la fauna silvestre: por medio de imágenes termales I.R. es posible, por ejemplo, determinar con gran precisión el número de bovinos u ovinos en ciertos potreros tanto en la noche como en el día.

Esta condición permitiría localizar ganado perdido con ocasión de tormentas así como conocer los hábitos alimenticios de ciertas especies.

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 que se consideran "normales", y si fuera factible obtener una cobertura de toda un área, se podría disponer de información valiosísima respecto de flujos masivos de tráfico dentro de un área dada durante un período. Tal información sería de utilidad en control de tráfico, estudios de turbulencias (movimientos computativos), planificación de las acciones de los servicios asistenciales y proveer datos de gran utilidad para toda una serie de investigaciones. Desde el espacio podría lograrse información sobre materiales de construcción: los techos podrían reconocerse según el monto de energía reflejada y los muros se distinguirían también por un diferente comportamiento térmico. Sería también posible la localización de equipos de aire acondicionado y de calefacción así como la evaluación de

de su eficiencia. Por otra parte, es factible el uso de I.R. en la determinación de índices de contaminación atmosférica para precisar el efecto de ciertos establecimientos industriales.

5.- Radar.

Es un equipo de microonda que envía un rayo de energía para detectar un cierto objeto. Los diferentes elementos "responden" de manera distinta a los impulsos de energía y resultan, de esta forma, identificables. Hasta hace corto tiempo se le usaba sólo para la detección de condiciones atmosféricas, patrullaje de caminos y delimitación de grandes entidades estructurales. La Acadia University ha desarrollado diversos programas experimentales con radares tipo PPI en el Canadá oriental y las Islas Británicas logrando una dosis razonables de éxito. La Raytheon Co. ha utilizado el radar Q56 en el estudio de estructuras geológicas, elementos geomórficos y aspectos culturales de uso de la tierra; los resultados logrados han permitido llegar a la conclusión que aún el Q56 es un eslabón muy elemental dentro de la cadena de radares modernos. De estas experiencias ha fluído la idea que un buen fotointérprete profesional no tendría inconvenientes en el trabajo con imágenes de radar.

Virginia L. Prentice ha demostrado recientemente (1967) la gran efectividad de las imágenes de radar. En efecto, ella comparó ese tipo de presentación gráfica con fotografías convencionales en el área de Wilmar, Minnesota, advirtiendo las diferencias de modelado que se observaban en ambos tipos de imágenes particularmente en relación con sectores de lagos, áreas urbanas, campos de cultivo, redes de transporte, etc. Como resultado de sus análisis llegó a la conclusión que ambos métodos son complementarios y no excluyentes. Rhodes y Schwartz han coincidido en que el radar es un instrumento geocientífico de indiscutible valor. Sin embargo, señalaron que se ha concedido poca atención a sus potencialidades en la distribución de distinciones espaciales de fenómenos agrícolas. El propósito de su estudio fue determinar hasta qué punto los fenómenos "Semi-superficiales" de un área agrícola pueden ser interpretados con suficiente exactitud por medio de una imagen de radar en la banda K.

Rhodes y Schwartz, tratando de lograr su objetivo, efectuaron una comparación estadística de la covarianza de indicadores de cultivos y suelos con imágenes logradas con película de densidad de radar (valor según la escala de gris) usando, para ello, una serie de gráficos de distribución de frecuencias. Como resultado se pudo descubrir que ciertos cultivos (en especial remolacha) y el suelo desnudo, pueden identificarse con gran facilidad y precisión en el nivel de escala gris de la imagen; sin embargo, en otros cultivos se advierte un menor grado de precisión. Para lograr obtener un resultado positivo se estima que es necesario efectuar estudios de modelados de cultivos distintos en diferentes períodos de la etapa de crecimiento. Para el futuro se estima que será necesario refinar los procedimientos analíticos y los equipos que se emplean en la detección de modelados. En este sentido están actuando diversos especialistas de la Universidad de Kansas que están perfeccionando técnicas que les permitan identificar diferentes cultivos y su estado de crecimiento desde gran distancia. Con el objeto de lograr tales propósitos se agregarán varios parámetros que hasta ahora no se han considerado.

En relación con las potencialidades del radar es interesante señalar que los ingenieros del Ejército de los EE.UU. han usado este medio para mapear áreas que nunca antes habían sido cartografiadas mediante procedimientos convencionales. De esta forma 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 AMS utilizó un radar aéreo Westinghouse que permitió compilar, desde 6.700 m. de altura, la información para el primer mapa preciso del Darién. Un radar del mismo tipo está siendo usado exitosamente en la prospección petrolífera.

El radar "side-looking" (SLAR), recientemente autorizado para usos científicos, jugará un papel importantísimo en el estudio de recursos terrestres. Su nombre deriva de la forma en que su antena está montada, paralelamente al fuselaje del avión. Envía impulsos de energía de microonda al suelo desde el aeroplano y recibe su reflejo desde la tierra. Puede usarse con nublados o neblinas y aún

en las noches con lo que ciertos elementos no perceptibles con otros sensores se distinguen en las imágenes de radar. El equipo ya ha sido usado experimentalmente para estudios de cultivos y tendrá empleo futuro en áreas de nublados persistentes en las que se requiera de mapeo, así como también se estima que será de gran valor para la localización y distribución de icebergs, la medición de altura de las olas para el mejor encauzamiento de las rutas marítimas, la determinación de líneas de fractura y de fallas, etc.

6.- El Uso de Microonda.

Uno de los campos más fascinantes y a la vez más exitosos en percepción remota ha sido el relacionado con la investigación de frecuencias de radio, audio y microonda. Notables adelantos se han logrado con este último medio que se basa, como el I.R., en variaciones de la radiación derivada de diferencias térmicas. Pero las emisiones de microonda tienen mayor longitud de onda y penetran las nubes y la neblina. Más aún, las microondas se originan, hasta un cierto límite, desde puntos localizados bajo la superficie terrestre. Se estima que con equipos de microonda será posible algún día obtener estudios rápidos y generales de humedad del suelo y aún de materiales subterráneos. Se ha sugerido que los satélites podrían dirigir, mediante un sistema de microonda, grandes programas de irrigación utilizando recursos hidráulicos subterráneos y hielos.

Diversas corporaciones industriales privadas han ejecutado estudios de tipo experimental para medir una variedad de materiales y objetivos usando diversas frecuencias. En este sentido se ha podido constatar que el grado de penetración de la microonda es directamente proporcional a la longitud de onda. Entre los estudios efectuados se encuentran algunos de medición, desde el aire, de la profundidad de las capas de hielo lo cual ha sido posible por medio de la correlación que se ha establecido entre las temperaturas radiométricas y el espesor del hielo. Como resultado de tales experiencias se estima que resulta factible calcular las reservas hidrológicas que presenta una región dada. En la misma forma se ha sugerido emplear microonda en investigaciones oceanográficas, especialmente en la determinación de flujos de calor entre

masas de aguas, temperaturas, diferenciales de las capas oceánicas, espesor de la cubierta de hielo marino, etc. Científicos de la Universidad de California han estado detectando plantas y árboles enfermos desde el aire antes que tales afecciones pudieran apreciarse desde la superficie. Expertos de la Bear Creek Mining Co. han experimentado con sistemas de microonda en la explotación geológica distinguiendo diferentes niveles de absorción de energía por parte de arenas y mezclas en que intervenga el agua lo cual permitiría la medición de estratos de diferentes materiales.

7.- Otros Sensores.

Hay una amplísima gama de sensores remotos de tipo diverso a los descritos pero su uso es más limitado por tener un carácter experimental o por su elevado costo. Entre otros pueden destacarse los espectrómetros de rayos gama que funcionan con ondas ultra-corta (una millonésima de micrón o menos) que son aún más sensibles que el radar y la microonda. Estos espectrómetros han probado su utilidad para la localización de substancias radioactivas. Aún más, un espectrómetro de rayos gama puede ser diseñado para operar hasta en 400 canales o bandas de ondas diferentes lo que es un buen indicador de sus potencialidades para la detección de minerales.

La Barringer Research Ltd. ha desarrollado un artefacto destinado a medir, a través de audio y radio, las respuestas del suelo a pulsaciones inducidas que varían en frecuencia desde 1,5 milisegundos hasta una fracción de microsegundo. También se ha trabajado en este plano con frecuencias VHF lo que permitiría efectuar mediciones relativas a humedad del suelo y espesor de la capa de hielo. El sistema de pulsaciones inducidas -INPUT- ha sido usado exitosamente en Australia y el S.W. de los EE.UU. para distinguir conductores sobresaturados de conductores geológicos subyacentes aún en áreas de caliche y capas de sal distinguidas por alta conductividad. Así fue posible distinguir la presencia de depósitos porfiríticos de cobre bajo gruesas capas salinas. En la actualidad INPUT estaría en condiciones de detectar hechos geológicos genuinos y de gran utilidad para el mapeo. También se han diseñado, recientemente, instrumentos para la percepción, desde el espacio, de vapores asociados con diversos depósitos mineros.

El uso de la porción ultravioleta -UV- del espectro electromagnético en percepción remota parecería estar en su etapa de experimentación y hasta el momento se han efectuado sólo ciertos estudios muy generales acerca de recursos hidrológicos. Al margen de todos los equipos a que se ha hecho referencia es conveniente conceder importancia a los artefactos tradicionales de medición usados en investigación geofísica, particularmente los de medición aeromagnética, los "contadores" de radiación y los equipos de gravimetría, penetrómetros, interferómetros electromagnéticos, etc. También se ha estudiado el uso de lasers especialmente para la determinación remota de temperaturas atmosféricas y para estudios de microformas de relieve, aunque sus condiciones de utilización aún no han sido precisadas.

D. EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION
DE RECURSOS DESDE EL ESPACIO: PERS
PECTIVAS Y PROCESAMIENTO DE LA IN-
FORMACION.

1.- Limitaciones de la Investigación Espacial y su Estado Ac-
tual.

Hasta la fecha la mayoría de las investigaciones desde sa-
télites está siendo desarrollada por militares, en tanto
los civiles prodiguen trabajando con aeroplanos. Por otra
parte, una gran proporción de los equipos han sido desa-
rrollados inicialmente con propósitos de espionaje. En
general, se estima que los materiales actualmente disponi-
bles para uso civil son mucho más simples que aquellos
considerados secretos (classified); estos últimos pueden
ser de gran utilidad para tareas urgentes en ciertas áreas
- detección de incendios forestales por ejemplo. Por otra
parte, se pueden obtener mayores "resoluciones" desde un
avión por efecto de la menor altura que desde satélites.
Sin embargo, el aeroplano no iguala la capacidad de vi-
sión sinóptica del mundo que posee un satélite el que,
además, constituye una plataforma estable y libre de vi-
bración. Trabajos como mapeos globales podrían desarro-
llarse desde satélites a una fracción del costo que deman-
daría una labor similar desde avión. El coordinador de
investigación del programa EROS, William A. Fischer, ha
señalado que "fotografiar totalmente los Estados Unidos
desde aviones costaría unos US\$ 12.000.000 y sería neces-
ario disponer de cerca de 500.000 fotografías. Desde el
espacio, todo el territorio sería cubierto por 400 foto-
grafías y el proceso tardaría menos de una semana en lu-
gar de diez años.

Un satélite que pudiera fotografiar todas las áreas te-
rrestres costaría unos US\$ 20.000.000 por concepto de co-
locación de la plataforma en órbita y toma de las fotos;
de este modo, la proporción del costo para cubrir a Esta-
dos Unidos alcanzaría cerca de US\$ 750.000. Debido a
que los satélites pueden repetir las campañas fotográfi-
cas en varias oportunidades una secuencia de fotos po-
dría obtenerse casi gratuitamente, (Bilinsky 1968). El
decano de la escuela de recursos naturales de la Univer-
sidad de Michigan ha declarado que "un satélite para el

estudio de recursos terrestres debería estar ya en órbita. No deberíamos esperar más de unos cinco años - señaló en 1967- para poner en práctica todo lo que conocemos acerca de sensores remotos" (Bilinsky, 1968). Se estima que ESSA, NASA y EROS estarían capacitados para dar el salto adelante.

E.R.O.S. responde a una aspiración conjunta de los Departamentos de Agricultura e Interior del gobierno federal de Estados Unidos que propusieron un programa orbital completo hace ya dos años. En todo caso se espera que el primer artefacto espacial equipado con baterías de sensores remotos permanezca permanentemente en órbita y esté provisto de tres cámaras de televisión para transmitir la información a tierra. La "resolución" a nivel del suelo sería de unos 30 a 50 mts. No obstante, NASA no ha dispuesto aún los fondos necesarios para la colocación en órbita de tal satélite pues sus técnicos argumentan que hay muchas dificultades por resolver y que no disponen de suficiente financiamiento para llevar a la práctica la proposición. Algunos científicos han expresado su disconformidad con NASA: Doyle, de Raytheon, ha señalado que la argumentación es "absurda"...Los programas de percepción remota desde el espacio están determinados a proporcionar la más grande oportunidad de rentabilidad a los civiles" (Bilinsky, 1968). El director de la subcomisión de ciencias y aplicaciones tecnológicas de la Cámara de Representantes, Joseph Kart, también está en desacuerdo con NASA y solicitó de las cuatro compañías comerciales que han alcanzado mayores avances en el campo espacial la preparación de un memorial sobre un satélite para la percepción de recursos naturales terrestres. Las corporaciones coincidieron en la conveniencia de lanzar muy pronto un satélite de tipo sencillo o recondicionar los que actualmente se usan con propósitos meteorológicos. La Hughes Aircraft, por su parte, sugirió el lanzamiento de una serie de satélites especialmente equipados (Bilinsky, 1968).

Como es posible advertir, no resulta extraño suponer que a principios de la década de los años 70 habrá por lo menos una plataforma orbital equipada con un verdadero laboratorio espacial que permitirá el estudio de los recursos naturales y el control y planificación de su uso. Una complicación que puede resultar muy difícil de solucionar podría derivarse de la fuerte oposición mostrada por los militares de EE.UU. respecto del uso de material considerado todavía de carácter reservado.

Sin embargo, a pesar de las razones militares que el Departamento de Defensa tiene en consideración, los científicos estadounidenses han señalado que ellos podrían obtener equipo japonés o francés muy superior a los materiales que han sido "desclasificados" en Estados Unidos con lo que sugieren que sus experiencias, así como sus potencialidades, se estarían quedando rezagadas en un campo en que ellos fueron pioneros. NASA se ha manifestado en apoyo de la posición del Departamento de Defensa y no ha hecho más fotografías de la tierra que aquéllas obtenidas por los astronautas con las cámaras Hasselblad. Curiosamente se ha fotografiado la luna con mayor cantidad de detalles que la tierra y los resultados se han hecho públicos. Así como un artefacto orbital lunar fotografió la superficie del satélite natural desde casi 50 Kms. detectando la posición de un Surveyor estacionado en esa superficie sería también factible haber tomado fotos de un automóvil sobre la superficie terrestre desde el espacio; sin embargo, NASA no puede usar para fotografiar la tierra las mismas cámaras que emplea en sus equipos lunares pues violaría las disposiciones militares de seguridad. La fuerte presión ejercida por los científicos a través de sus asociaciones y congresos han contribuido a acelerar la "desclasificación" de equipos de percepción remota.

Frente a las dificultades encontradas con los militares se ha advertido interés por parte de varios países de Europa Occidental, Japón y América Latina por efectuar aplicaciones con satélites para detección y evaluación de recursos naturales. La O.E.A., por ejemplo ha sugerido la puesta en órbita de un satélite especialmente equipado sólo con fines de estudio de las potencialidades económicas de América Latina. Sin embargo, varios países han planteado objeciones de tipo defensivo y se estima que algunas naciones podrían oponerse con cierta tenacidad.

Así Amron Katz, especialista en fotografías orbitales de la Rank Corp., ha señalado que si los equipos de detección son transportados por aeroplanos pilotados por nativos de los países a que corresponde el estudio que esté desarrollándose, habría menos resistencia que si se usara satélites. La mayoría de los científicos, sin embargo, está interesado en la organización de un sistema de asociación mundial de especialistas con un sistema global de estudios de recursos basado en el empleo

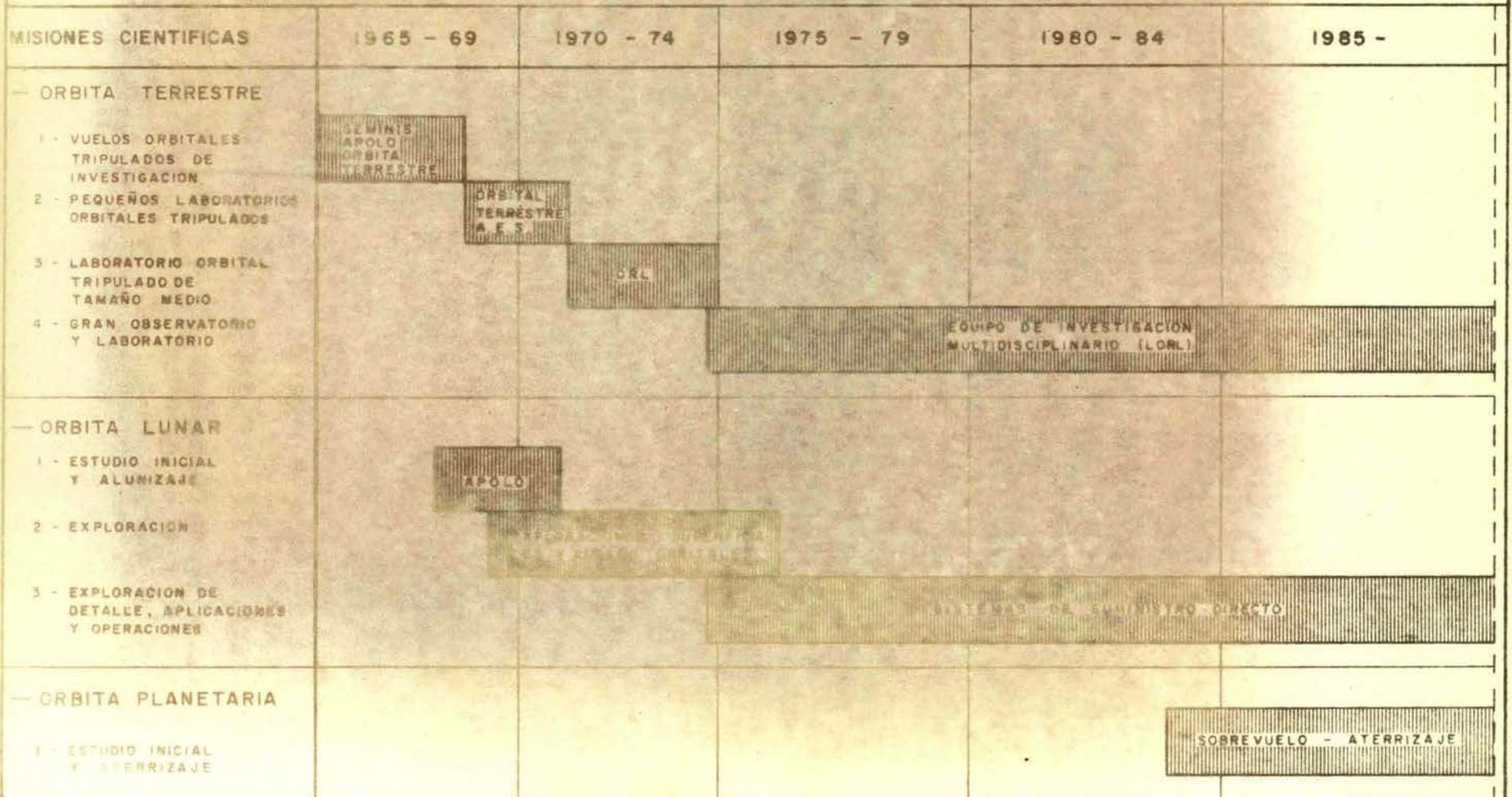
de satélites. Con el objeto de obviar el probable problema del uso que se daría a la información obtenida por tales satélites -i.e. que se estaría empleando con propósitos de espionaje- que se ha sugerido que los artefactos lleven un sistema de desciframiento que pueda usarse en cualquier país. Aún más, se ha propuesto que un acuerdo similar al relativo a información meteorológica podría pactarse entre los Estados Unidos y la Unión Soviética para el intercambio informativo. Aún no se ha determinado quién dirigiría, controlaría o poseería tal red global de estudio de recursos aunque se piensa que una corporación semi-pública como la Comsat podría ser una buena solución al problema, pero otros han sugerido que una mejor alternativa estaría dada por una agencia especial de las Naciones Unidas.

Al margen de las limitaciones indicadas, se han elaborado planes acerca de posibles misiones científicas tripuladas (fig. 6). Como una primera etapa se ha señalado la formación de un conjunto de pequeños laboratorios tripulados y dispuestos en órbita terrestre; se estima que tales experiencias se podrían iniciar a fines de 1969. Paralelamente, siguiendo a la meta del alunizaje trazada para 1969, se intentarían exploraciones superficiales y vuelos orbitales a la luna a fin de estudiar la posibilidad del establecimiento de sistemas de exploración que, con posterioridad, pudieran tener aplicaciones terrestres. Para el período 1970-74 se espera establecer, en torno a la tierra, un laboratorio orbital de investigación tripulado, de tamaño medio, que pudiera tener especial importancia para el estudio de los recursos naturales así como de los procesos que intervienen en su generación o transformación. Este tipo de actividades programadas por NASA no consulta, sin embargo, la posible participación de otras naciones. Estas circunstancias hacen pensar la conveniencia que los organismos interesados en percepción remota de otros países intenten alguna forma de colaboración internacional destinada al estudio de las aplicaciones de sensores remotos y al eventual empleo de laboratorios orbitales.

2.- Los Distintos Tipos de Sensores y sus Ventajas Comparativas.

De conformidad con el tipo de fenómenos que se desee explorar, la naturaleza de los sensores susceptibles de utilización varía. En términos bastante generales, J.P. Latham ha confeccionado una tabla que señala las condiciones bajo las cuales pueden o no utilizarse los distintos

POSIBLES MISIONES CIENTIFICAS TRIPULADAS (NASA)



tipos de sensores para el estudio de una variada gama de fenómenos geográficos (fig. 7). Los sensores ópticos sólo son susceptibles de uso diurno y ocasionalmente se prestan para actividades nocturnas, siendo prácticamente nulos en su eficiencia cuando hay un predominio de "malas condiciones" atmosféricas; por otra parte, tales sensores no se prestan para la localización de recursos mineros subterráneos, algunos fenómenos glaciológicos, composición de las estructuras geomórficas ni para el estudio de los efectos térmicos de las actividades industriales que pudieran incidir en la contaminación de la atmósfera y del agua. El "mapeador" I.R. tiene la ventaja de su uso indistinto en el día y la noche, aunque es afectado en su eficiencia por las "malas condiciones" atmosféricas y no parece ser adecuado para algunos estudios glaciológicos. El sensor de microonda tiene el mérito de un posible uso "continuo" aún en condiciones atmosféricas "adversas"; sin embargo, no parece prestarse para fenómenos conectados con flujos de transporte (ferrocarriles y oleoductos). El radar también puede considerarse como un sensor de carácter "continuo", sin embargo no es de utilidad para el análisis de una serie de fenómenos geográficos (recursos hidráulicos, fenómenos glaciológicos, flujos de tráfico, etc.).

Se han elaborado también tablas de aplicaciones potenciales (fig. 8), que permiten advertir que los sensores ópticos tienen la mayor versatilidad, por cuanto pueden aplicarse en la más amplia gama de situaciones (agricultura, "geografía", geología, hidrología y oceanografía). Los sensores I.R. parecen seguir a los ópticos en cuanto a los fenómenos que son susceptibles de interpretación con tales medios e incluso son de utilidad en áreas para las que los sensores ópticos no parecen ser apropiados: Detección de incendios forestales y evapotranspiración. El radar presenta también un gran campo de aplicaciones potenciales. El laser y el magnetómetro, a su vez, parecen ser los únicos sensores aplicables a ciertos estudios oceanográficos vinculados al análisis de las estructuras sub-marinas.

Además, Fischer ha elaborado una tabla de aplicaciones geológicas de sensores remotos (fig. 9), observándose que los sensores ópticos y de I.R. son los que ofrecen las más variadas oportunidades de empleo. También se aprecia que el radar y los sensores de microonda son de

DETECCION DE FENOMENOS GEOGRAFICOS CON SENSORES REMOTOS

(DESPUES DE J. P. LATHAM, FAU)

FENOMENOS GEOGRAFICOS	SENSORES					
	CAMARA AEREA	SCANNER I.R.	RADAR	MAGNE- TOMETRO	MICROONDA PASIVO	T.V.
DISTRIBUCION DE TIERRAS Y AGUAS	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
FISIOGRAFIA (TAMAÑO, FORMA, RELIEVE)	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
RECURSOS MINEROS						
LOCALIZACION SUPERFICIAL	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
LOCALIZACION SUBTERRANEA		⊙	⊙	⊙	⊙	
CATEGORIAS DE SUELOS	⊙	⊙	⊙			
HUMEDAD DEL SUELO	⊙	⊙	⊙		⊙	
AGUA SUBTERRANEA	⊙	⊙			⊙	
CORRIENTES DE AGUA	⊙	⊙			⊙	
CONTAMINACION DE AGUAS	⊙	⊙			⊙	
HIELO (GLACIAL O MARINO)	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
FISURAS DEL HIELO	⊙	⊙	⊙		⊙	
FENOMENOS CUBIERTOS POR HIELO				⊙	⊙	
VEGETACION						
- IDENTIFICACION	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
- ESTADO DE HUMEDAD	⊙	⊙	⊙			
- ESTADO SANITARIO	⊙	⊙			⊙	
MODELADO DE NUBES	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
ESTRUCTURAS						
TAMAÑO, FORMA, RELIEVE	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
- MATERIALES	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
- COMPOSICION		⊙		⊙	⊙	
CARRETERAS	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙
FERROCARRILES	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙
OLEODUCTOS	⊙	⊙	⊙			⊙
FLUJOS DE TRAFICO DE VEHICULOS	⊙		⊙			⊙
- INDICACION TERMICA		⊙			⊙	
- APERTURA DE SENDEROS	⊙					
ACTIVIDAD INDUSTRIAL						
INDICACION TEMPERATURA		⊙			⊙	
INCENDIOS						
- SUPERFICIALES	⊙	⊙			⊙	⊙
- SUBTERRANEOS		⊙			⊙	

- ⊙ USO SOLO CON LUZ SOLAR
- ⊙ USO DIURNO Y NOCTURNO
- ⊙ USO DIURNO Y OCASIONALMENTE NOCTURNO
- ⊙ USO DIURNO, NOCTURNO Y CON "MALAS CONDICIONES" ATMOSFERICAS

Fig 9 APLICACIONES GEOLOGICAS DE SENSORES REMOTOS (DESPUES DE W A FISCHER)	COMPOSICION				ESTRUCTURA		ESTRATIGRAFIA SEDIMENTACION					DEPOSITOS MINEROS					INGENIERIA				ESTUDIOS DEL MANTO									
	TIPOS DE ROCAS	LITOLOGIA	POROSIDAD	PERMEABILIDAD	COMPOSICION	FALLAS, PLEGUES DOMOS, DE SAL	ARRECIPIES DE CORAL	DEPOSITOS FLUVIALES	DEPOSITOS DE PLAYA Y COSTEROS	AGUJONES DE DEYECCION	QUINAS	PALLAS Y PLEGUES	ALTERACION ZONAS DE CONTACTO	ROCKS INTRUSIVAS	PROVINCIAS METALOGENICAS	ESQUISTOS, BITUMINOSOS	RUBOSIDAD SUPERFICIAL	DISTRIBUCION DE LA HUMEDAD DEL SUELO	PERMAFROST	ESTABILIDAD DE PENDIENTE	GRADO DE COMPACTACION	ZONAS SISMICAS	VOLCANES AGUAS TERMALES	VARIACIONES DEL BALANCE TERMICO	CAMPOS MAGNETICOS	GRADIENTES DE GRAVEDAD	CONSTITUCION INTERNA	ISOSTASIA	DERIVACION CONTINENTAL	GLACIACION (CONTINENTAL - VALLE)
1 - CAMARA METRICA	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2 - CAMARA PANORAMICA	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X				X	X	X					X	X
3 - CAMARA DE ALTA RESOLUCION	X	X	X	X		X	X				X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X							X
4 - CAMARA SINOPTICA DE MULTIBANDA	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X							X
5 - IMAGENES DE RADAR	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										X
6 - MEDIDOR DE DISPERSION DE RADAR	?			?	?						?	?	X		X															
7 - IMAGENES DE I.R.	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X			X				
8 - RADIOMETRO / ESPECTOMETRO I.R.	X	X	X				X	X		X	X		X				X	X				X	X			X				
9 - IMAGENES DE MICROONDA	X				X		?	X	X		?	X	X	X			?	?		X	X	X	X							X
10 - RADIOMETRO DE MICROONDA	?	?	X	X				X		X							X	?	X	X	X	X	X							X
11 - ALTIMETRO LASERS						X	X	X			X		X		X												X	X	X	X
12 - MAGNETOMETRO	X												X	X	X								X			X	X	X		
13 - GRADIOMETRO DE GRAVEDAD					?								X												X	X	X	X		
14 - ESPECTROSCOPIO DE ABSORCION		X										?	?	X	X	X	X			X		X								
15 - REFLEJO DE FRECUENCIA DE RADIO	?															X	X													X
16 - U.V	X	X	?	?		?	?	X	X	X	X	?	X	X	X				X				?							
17 - LOCALIZADOR DE VISION							X	X		X												X								X

utilidad en una gran diversidad de materias; en tanto, el U.V. presenta una serie de interrogantes en torno a sus potencialidades de ocupación. Finalmente, Robinoue ha confeccionado una tabla ponderada de la prioridad relativa de instrumentos de percepción remota con propósitos hidrológicos. Esta tabla concede un índice de ponderación a las materias de estudio que permite dar a cada sensor un valor conforme a su aplicabilidad o inutilidad en situaciones concretas obteniéndose un peso final para ellos que sirve para conceder a cada grupo de sensores una ponderación general y un orden de prioridad en su aplicación.

Las prioridades obtenidas por los grupos de sensores tienden a confirmar las apreciaciones que se desprendieron de la consideración de las otras tres tablas; en efecto, se concede primera importancia a los sensores ópticos (fotográficos), seguidos por I.R., microonda, radar y U.V.

3.- El Procesamiento de la Información.

Una vez que se cuente con un equipo transmisor de la información provista por los sensores remotos será necesario disponer de todo un aparato capacitado para su análisis. Esta etapa de procesamiento requiere de la confección previa de una suerte de "código" o "catálogo" de respuestas espectrales con el objeto de establecer claras distinciones entre los diferentes elementos. Esto es, como la percepción remota se basa en el simple principio físico que todo objeto sobre la superficie terrestre emite o refleja energía electromagnética con una longitud de onda específica y distintiva, resulta necesario disponer de un registro de las diferentes "señales" correspondientes a los objetos que interesa estudiar. La preparación del "código" puede efectuarse mediante vuelos sobre áreas piloto utilizando sensores semejantes a los que se van a emplear en el trabajo definitivo. Los resultados obtenidos se correlacionan luego con las "imágenes verdaderas" para lograr la identificación definitiva. Es interesante advertir que las "imágenes" provistas por algunos sensores suelen ser afectadas por condiciones especiales que pueda presentar el objeto en estudio; así, por ejemplo, se ha constatado que los naranjos agónicos experimentan un colapso del tejido esponjoso y verde de sus hojas que es apreciable en una "imagen" I.R. a causa de su escaso reflejo, en tanto que a simple vista o mediante el uso de equipos ópticos convencionales tal estado fitosanitario

no logra discernirse; de la misma manera, algunos sensores remotos permiten advertir la operación de los escarabajos destructores antes que ella resulte visible al ojo humano. A causa de los diferentes estados que pudiera presentar cada objeto resulta adecuado el uso del mayor número de bandas para lograr más alta precisión en la detección de cada recurso natural lo que implica una tarea mayor y más compleja de análisis. En este sentido es importante recordar que la habilidad para recolectar información se ha hecho tan extraordinaria que se teme que su gran monto limite las posibilidades de análisis de esta información. La NASA, por ejemplo, está capacitada, desde el punto de vista tecnológico para cubrir 25.000.000 de Kms.2 de superficie en sólo un día (casi todo el área de África), pero no se dispone de equipos adecuados en tierra como para procesar con similar rapidez el cúmulo de antecedentes que pueden recolectarse.

Como es posible advertir, el problema de procesamiento de la información representa una de las dificultades de más costosa solución. Esta limitación gravita pesadamente sobre las expectativas que los países subdesarrollados cifran sobre los mecanismos de percepción remota de recursos naturales para ayudar a su adelanto económico. Sin embargo, se estima que todas estas complicaciones resultarían superables si se define con certeza la problemática a ser analizada; esto implica precisar los aspectos referentes a prospección de recursos o a control del desarrollo económico con gran claridad. Una vez cumplida esta etapa será necesario resolver el nivel de información que se requiere para dar respuesta a las interrogantes planteadas. Posteriormente se puede seleccionar el equipo de procesamiento que se ajuste a tales aspiraciones. En otros términos, es preciso contar con un verdadero plan de investigación, procesamiento y uso de la información, cuya formulación requerirá de una serie de consideraciones científicas, técnicas y económicas. En un país subdesarrollado tal plan deberá estar incorporado dentro de las funciones normales de los organismos coordinadores de las decisiones económicas nacionales lo cual permitirá asegurar el correcto aprovechamiento de la documentación.

En cuanto a las características propias del equipo receptor y de procesamiento de información es posible sintetizar algunas ideas anticipadas por científicos que han tenido participación en experiencias espaciales. Los especialistas de la Universidad de Purdue han trabajado en el

análisis directo de la documentación usando aviones, computadores terrestres y sensores infra-rojos para su experimentación. De esta forma, la energía infra-roja reflejada por distintos cultivos no es entregada en imágenes visuales, sino que es grabada directamente en cinta magnética que es llevada a un computador programado para identificar y correlacionar "signos" de cultivos y luego desplegar la documentación en forma de un mapa del área en estudio (Bilinsky, 1968). En este sentido, una aplicación masiva de sensores remotos supondría disponer de un equipo receptor en tierra que funcionase en conexión con un sistema "amplificador" de alta velocidad capacitado para "traducir" los débiles impulsos electromagnéticos recibidos desde el laboratorio espacial separando las "señales" en forma distinguible de manera que ellas pudieran introducirse en cinta magnética a un equipo de procesamiento (input) compuesto de varios computadores (ver fig. 11), cada uno de los cuales tendría en su memoria una fracción definida del "código de señales" al que correspondería el input utilizado, programados para establecer correlaciones entre lo observado y el registro disponible. La etapa de procesamiento terminaría con el producto de estos computadores (output) por separado o con un output conjunto que sería previsto por un computador matriz que tendría a su cargo la ordenación y superposición de las informaciones reconocidas separadamente en la etapa anterior, permitiendo, finalmente, el diseño de estrategias de estudio posterior o decisiones inmediatas.

E. CONCLUSIONES

Del presente estudio cabe desprender que la tecnología de los sensores remotos ha alcanzado un elevado nivel de desarrollo y que presenta potencialidades ciertas de aplicación. De la descripción particular de cada sensor puede concluirse que ellos se prestan efectivamente para el reconocimiento de recursos así como para el control de su utilización. Parece, pues indudable que un país seriamente interesado en la planificación de su desarrollo económico deba tomar en consideración la posibilidad de disponer de estos elementos a fin de conocer mejor su realidad y facilitar la ejecución y control de sus planes de transformación económica. En cualquier caso, resulta adecuado señalar que compete a una organización como el Instituto de Investigación de Recursos Naturales disponer del personal adecuado para la comprensión del uso de estos nuevos procedimientos y estimular, conjuntamente con otros organismos nacionales, la formación de algún tipo de comisión que se preocupe de establecer programas susceptibles de desarrollo mediante el uso de sensores remotos. Esta actividad requeriría, desde luego, el estudio de una serie de consideraciones derivadas del costo y conveniencia de los sensores respecto del objeto de estudio. En una segunda etapa podría intentarse algún tipo de vinculación con organismos similares que pudieran surgir en otros países latino-americanos a fin de promover, a nivel internacional, la preocupación por este tipo de actividades, siguiendo tal vez un plan semejante al Año Geofísico Internacional.

Es evidente que la magnitud de las tareas vinculadas al desarrollo regional y nacional chilenos requieren de la consideración de potencialidades, como las que se reseñan en este trabajo, que pudieran facilitar las decisiones futuras en este campo. Por otra parte, como lo ha señalado el Director de IREN, las condiciones multifacéticas del país hacen de éste un área de gran interés como centro de exploraciones en cuanto a la aplicabilidad de los nuevos avances en la tecnología de la percepción remota. Además la forma de Chile parece prestarse para un trabajo relativamente rápido si se dispone de una plataforma orbital adecuadamente localizada. Por último, un programa exploratorio con sensores remotos en el cono sur de América permitiría establecer una suerte de experimento comparativo, y presumiblemente complementario, con el plan de investigación que CSIRO espera realizar en Australia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Gene Bilinsky "From a High-Flying Technology, a Fresh View of Earth", en Fortune LXXVII (1968), 6, pp 100-103 y 144-148.
- R.N. Colwel "Remote Sensing of Natural Resources", en Scientific American, 218, (1968), 1, pp 54-69.
- R.N. Colwel, et.al., "Basic Matter and Energy Relationships Involved in Remote Reconaissance", en Photogrametric Engineering, Sept. 1963, p. 786.
- J.E. Estes "Some Applications of Aerial Infrared Imagery", en Annals of the Association American Geographers, 56 (1966) 672-682.
- International Geographical Union "Comission on the interpretation of Aerial Photographs (1965-1966) Circulares 1 y 2.
- J.P. Latham "Remote Sensing of the Environment" en Geographical Review, LVI (1966), 288-291.
- Paul Merifield y James Rammelkamp "Terrain Seen From Tiros", en Photogrametric Engineer, XXXII (1966), 44-54.
- J.C. Morgan y .L. Prentice "Third Symposium on Remote Sensing" en Photogrametric Engineer, XXXII (1966), 98-110.
- O.E.A., Instituto Panamericano de Geografía e Historia IX Reunión del Consejo Directivo, Resoluciones Generales (mimeo).
- V.L. Prentice "Geographic Interpretation of Radar Imagery", en Annals of the Association of American Geographers 57 (1967), 188.

- N.J.D. Prescott "The Geodetic Satellite - S.E.C. O.R.", en The Geographical Journal (londoa), 132 (1966), 1-15.
- D. Rhodes y D.E. Swartz "Some Potentials and Problems in the use of Radar Imagery in Crop Geography Studies", en Annals of the Association of American Geographers, 57 (1967), 188.
- Stanford Research Institute Bandwidth Compression Techniques for meteorological Satellite Pictures (Menlo Park, S.R.I., 1965) Informe preparado para NASA bajo contrato, N.A.S. 5-3706.
- A.N. Strahler Physical Geography (New York, John Wiley and sons, Inc., (1960).
- K.H. Stone "A Guide to the Interpretation and Analysis of Aerial Photos", en Annals of the Association of American Geographers, 54 (1964) 318-328.
- F.J. Wobber "Space Age Prospecting", en World Mining (June 1968), pp. 26-30.

Además, IREN dispone ahora de las Actas de los Congresos realizados por el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Michigan que incluyen los trabajos presentados y pueden ser de gran utilidad en el estudio de los equipos y procedimientos actualmente en uso.