

Publicaciones
Didácticas

Conocimientos Básicos
sobre Teleobservación
Satélites NOAA



COMISION NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES



Publicaciones Didácticas de la
COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES
*"CONOCIMIENTOS BÁSICOS
SOBRE TELEOBSERVACIÓN SATÉLITES NOAA"*

ÍNDICE CUADERNILLO Nº 1

- ◆ Prólogo
- ◆ Definición de Teleobservación
- ◆ La Radiación Electromagnética
- ◆ Interacciones de la Energía con la Atmósfera
- ◆ Interacciones de la Energía con la Superficie de la Tierra
- ◆ Sensores
- ◆ Sistema Satelital
- ◆ Satélites Metereológicos
- ◆ Satélites NOAA
- ◆ Glosario
- ◆ Bibliografía

RECOPIACIÓN Y EDICIÓN

Dra. Mónica Rabolli
Andrea Gulich

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Ana María Hernández
Ing. Raúl Fernando Hisas
Lic. Alberto Ridner
Ing. José Kuba

ASESORAMIENTO INFORMÁTICO

Mariano Fernández
Lic. Marcelo Colazo

COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES

Av. Paseo Colón 751 (1063) - Buenos Aires - Argentina Tel: (54-11) 4331- 0074 - www.conae.gov.ar

CONOCIMIENTOS BÁSICOS SOBRE TELEOBSERVACIÓN SATÉLITES NOAA

PROLOGO

Para conocer los beneficios de la actividad espacial, nada mejor que asomarse a ese fantástico mundo a través de uno de sus protagonistas: *los satélites*.

Estos aparatos pueden tener formas exteriores muy diferentes y ser utilizados con diversos fines, como en telecomunicaciones, observación de la Tierra o en la realización de experiencias científicas. Diseñar y fabricar un satélite no es tarea simple. Se requiere la organización de programas complejos, en cuyo desarrollo normalmente intervienen varios países.

Cada misión satelital ocupa a hombres y mujeres de especialidades muy diversas, que aúnan esfuerzos para aplicar sus conocimientos, desarrollar nuevas tecnologías y cumplir con los requisitos de costos, plazos y calidad que la actividad espacial impone.

A diario nos beneficiamos con el uso de la tecnología espacial. Transmisiones de TV, comunicaciones telefónicas y pronósticos metereológicos ya forman parte de nuestra vida cotidiana. Observar la Tierra para conocerla y hacer una mejor gestión de los recursos es el trabajo que nos queda por delante.

Sin duda, el espacio es un motor de desarrollo de nuestra sociedad y de nuestro modo de pensamiento. Por ello desde la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) queremos dar amplia difusión de la información que se obtiene desde el espacio y de los medios que se utilizan para conseguirla.

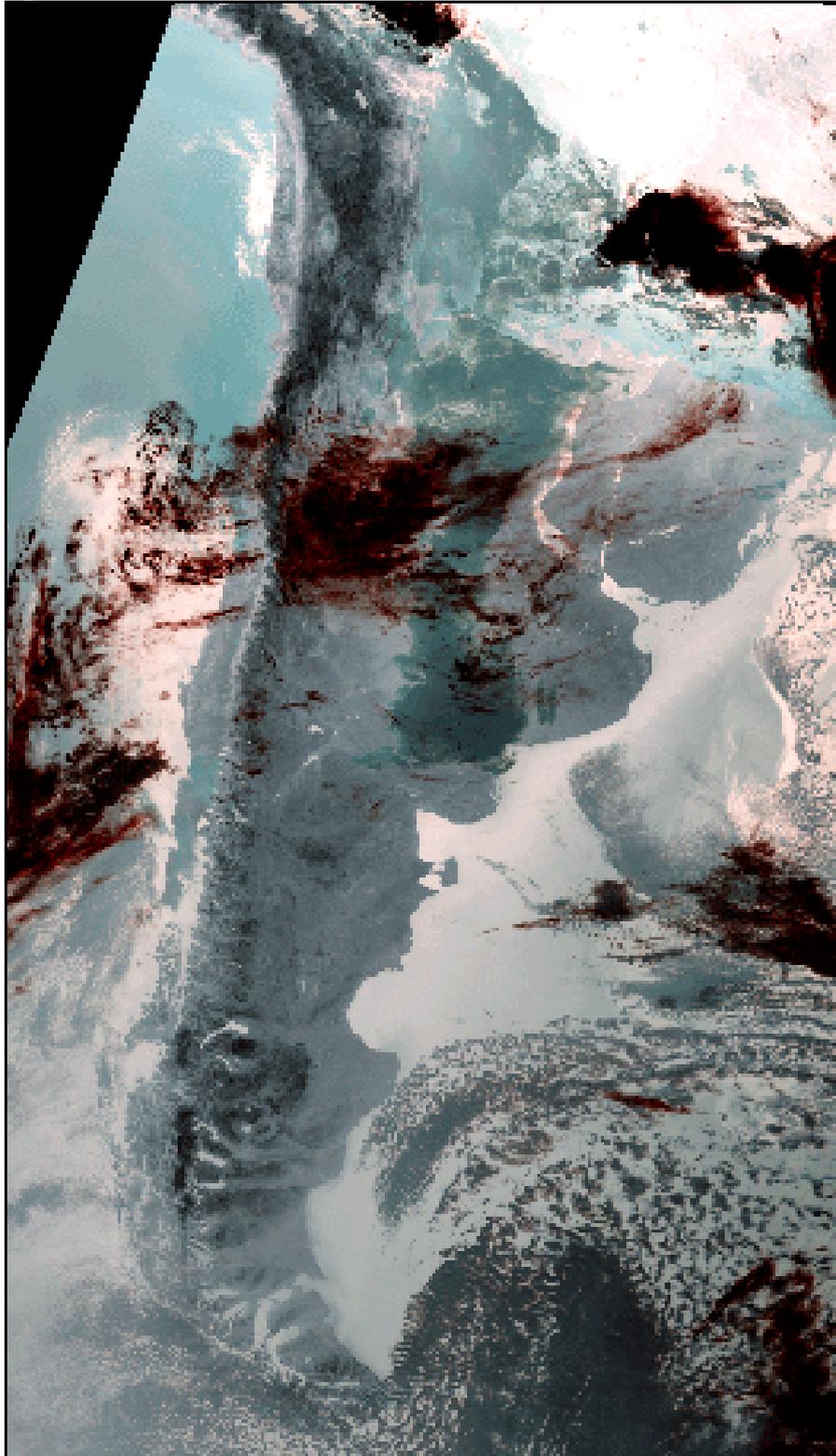
Esta publicación inaugura entonces la producción de material didáctico acerca de las características y usos de los satélites. La publicación "Conocimientos Básicos sobre Teleobservación" está dirigida a los estudiantes de todo el país. Ellos son los futuros usuarios de la información espacial y junto a los docentes, también tienen en sus manos la posibilidad de dar continuidad a la actividad espacial argentina, aprovechando los productos que la CONAE genera.

En esta primera etapa se abordan las características de los satélites NOAA, se dan ejemplos de imágenes y sus aplicaciones. La explicación de su funcionamiento es la clave para descubrir cómo se obtienen las imágenes satelitales y cuáles son los principios físicos que las originan.

Cómo se genera la radiación electromagnética ? Qué es la radiación ? Cómo interactúa con la atmósfera y con la materia ? Cómo se obtienen los datos ? Cómo se los interpreta ?

Estas y muchas otras preguntas serán respondidas en las páginas que siguen.

Bienvenidos al espacio!



Seguramente usted ha visto antes una imagen como la anterior. Se trata de una imagen obtenida por un satélite meteorológico, el NOAA-12, con un instrumento denominado Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (**Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR**).

Veremos ahora detenidamente las imágenes NOAA, para ello necesitamos definir algunos conceptos básicos que nos ayudarán a entender cómo se obtiene una imagen satelital.

DEFINICIÓN DE TELEOBSERVACIÓN

La palabra teleobservación puede parecer algo extraña cuando no se está familiarizado con el tema, pero veremos que, en realidad, está asociada a nuestra experiencia cotidiana. Cuando hablamos de teleobservación estamos refiriéndonos a la percepción de un objeto a distancia.

Al leer estas palabras, usted está empleando la teleobservación. Sus ojos actúan como sensores que responden a la luz reflejada sobre el papel. Los datos que sus ojos adquieren son impulsos correspondientes a la luz reflejada por las áreas claras y oscuras de esta página. Estos datos son analizados, o interpretados, en su computadora mental para permitirle a usted explicar las áreas oscuras sobre el papel como un conjunto de letras que forman palabras. Más allá de esto, usted reconoce que las palabras forman oraciones y usted interpreta la información que estas oraciones contienen.

En muchos aspectos, la teleobservación se puede considerar como un proceso de lectura. Utilizando distintos sensores, en forma remota se obtienen datos que se pueden analizar para obtener información de objetos, áreas o fenómenos que se quieren investigar. Los datos obtenidos mediante un sensor remoto pueden tener características diferentes, es decir, pueden ser variaciones de la distribución de fuerzas, distribución de ondas acústicas o distribución de energía electromagnética. Por ejemplo, el magnetómetro mide variaciones de campo magnético; el sonar registra variaciones en la distribución de ondas sonoras y, por otra parte, nuestros ojos adquieren datos de variación de distribución de energía electromagnética.

De acuerdo a lo anterior, podemos definir la **teleobservación** como el conjunto de técnicas que permite obtener información acerca de un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un **dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo estudio**.

Los sensores que operan desde los satélites detectan variaciones de la radiación electromagnética emitida o reflejada por la superficie terrestre, registrando de ese modo las características de la misma.

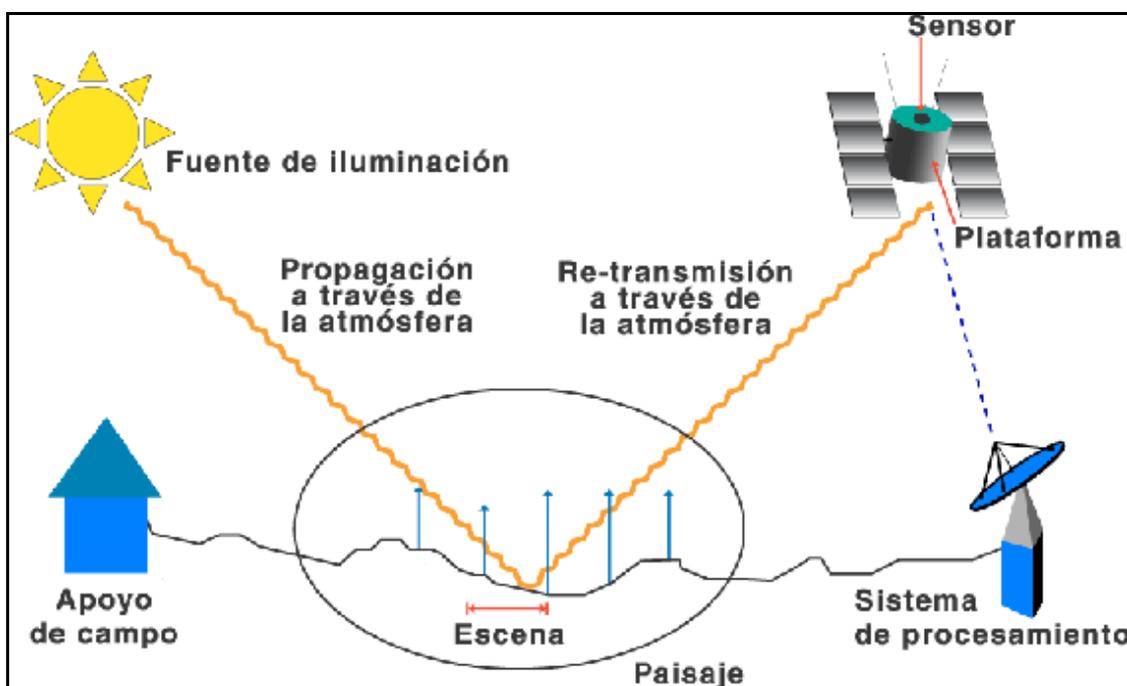


Figura 1: Elementos básicos.

La figura 1 muestra en forma esquemática el proceso y los elementos básicos involucrados en la percepción remota de recursos naturales.

La **fuentes de iluminación**, en este caso el sol que emite luz o radiación solar; la **propagación** de la energía a través de la **atmósfera**; la **interacción** de la energía con los elementos de la **superficie terrestre** (ríos, montañas, vegetación, edificios); la **retransmisión** de la energía a través de la **atmósfera**; el **sensor remoto** es el que captura la luz proveniente de los elementos de la superficie, la **plataforma**, que es el lugar donde se monta el sensor remoto para obtener una visión de conjunto de la

escena, el **sistema de procesamiento**, equipo necesario para convertir los datos provenientes del sensor remoto en imágenes o almacenarlos en forma digital, y el **apoyo de campo** que consiste en la inspección y medición directa sobre puntos del terreno con diferentes características, elegidos con el fin de constatar los datos obtenidos a distancia (validación terrestre).

LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La luz visible es sólo una de las muchas formas de energía electromagnética. Las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioleta y los rayos X son otras formas familiares.

Todas estas formas de energía son intrínsecamente similares y se propagan de acuerdo a la teoría básica de ondas. Esta teoría describe la energía electromagnética como propagándose en forma armónica y sinusoidal a la velocidad de la luz c .

La distancia de un máximo de la onda al siguiente es la *longitud de onda* y el número de picos que pasan por un punto fijo en el espacio por unidad de tiempo es la *frecuencia* (figura 2).

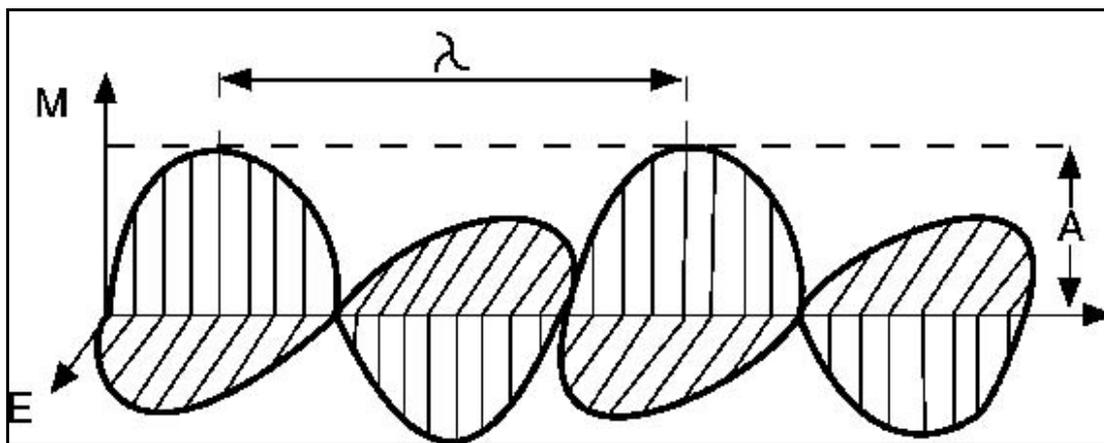


Figura 2: Onda electromagnética. Consta de una onda sinusoidal eléctrica (E) y una similar magnética (M), perpendiculares entre sí y ambas perpendiculares a la dirección de propagación

De acuerdo a la física básica, las ondas cumplen la ecuación: $c = v \lambda$

Puesto que c es constante (3×10^8 m / seg) la ecuación anterior relaciona en forma unívoca la longitud de onda y la frecuencia para una onda dada. En teleobservación es frecuente caracterizar las ondas por su ubicación, según la longitud de onda, en el espectro de radiación electromagnética (figura 3).

El *espectro electromagnético* es el rango de longitudes de onda que se extiende desde la radiación cósmica hasta las ondas de radio. La unidad usada preferentemente para medir la longitud de onda es el *micrón* (μm). Un micrón es igual a 1×10^{-6} metros. Si bien se asignan nombres como *ultravioleta* o *microondas* a algunas regiones del espectro, no hay un corte neto entre una región y la siguiente. Las divisiones en el espectro surgen a partir de los distintos métodos para detectar la radiación más que de diferencias intrínsecas en las características de la energía en las distintas longitudes de onda.

Puede verse en la figura 3 que la parte visible del espectro es muy pequeña, porque la sensibilidad espectral del ojo humano se extiende sólo desde los $0,4\mu\text{m}$ hasta aproximadamente los $0,7\mu\text{m}$. El color "azul" corresponde al rango de $0,4$ a $0,5\mu\text{m}$, el "verde" de $0,5$ a $0,6\mu\text{m}$ y el "rojo" de $0,6$ a $0,7\mu\text{m}$. La energía ultravioleta (UV) se encuentra junto al azul en la parte visible del espectro; por otra parte, a continuación en el extremo rojo hay tres categorías diferentes de ondas infrarrojas el *infrarrojo cercano* ($0,7$ a $1,3 \mu\text{m}$), el *infrarrojo medio* ($1,3$ a $3\mu\text{m}$) y el *infrarrojo térmico* (más allá de los $3\mu\text{m}$). El rango de las microondas corresponde a las longitudes mucho más largas (1 mm a 1 m). En microondas, suele hablarse de frecuencia más que de longitud de onda, el rango de 30 a 300 milímetros corresponde a una frecuencia de 1 Ghz y 10 Ghz.

La mayoría de los sensores operan en uno o varios de estos rangos. Cabe señalar que dentro del infrarrojo sólo la energía en el infrarrojo térmico se asocia con calor.

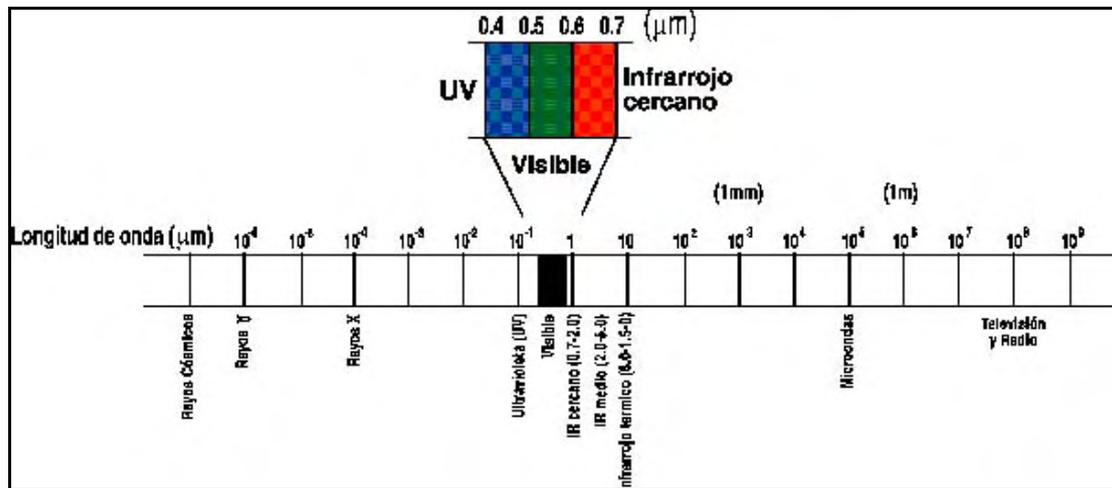


Figura 3: Espectro electromagnético.

INTERACCIONES DE LA ENERGÍA CON LA ATMÓSFERA

Independientemente de la fuente, toda la radiación detectada por los sensores remotos realiza un recorrido a través de la atmósfera.

La longitud de este recorrido puede variar mucho. Por ejemplo la fotografía satelital se obtiene como resultado de la luz del sol que atraviesa la atmósfera de la Tierra, incide sobre la superficie y es recibida por el receptor luego de haber atravesado nuevamente la atmósfera. Por otra parte, un sensor térmico montado en un satélite detecta energía emitida directamente de los objetos de la superficie de la Tierra y por consiguiente el recorrido es más corto pues atraviesa la atmósfera una sola vez.

El efecto de la atmósfera sobre la energía transmitida varía con estas diferencias de recorrido, como así también con la intensidad de la señal emitida, con la longitud de onda y con las condiciones atmosféricas al momento de la observación.

La atmósfera afecta a la radiación incidente mediante dos mecanismos diferentes:

Dispersión o Scattering:

Es la difusión de la radiación producida por partículas en la atmósfera.

- ◆ **Dispersión Rayleigh** cuando la radiación interactúa con moléculas atmosféricas y otras partículas pequeñas cuyo diámetro es menor que la longitud de onda de la radiación incidente. Las longitudes de onda más cortas tienden a ser más afectadas por este mecanismo de dispersión que las longitudes de onda más largas. El cielo azul es un ejemplo de este tipo de dispersión.
- ◆ Otro tipo de dispersión es la **Dispersión Mie**, ésta tiene lugar cuando las partículas que interactúan con la radiación son de mayor diámetro, por ejemplo vapor de agua y partículas de polvo. Esta radiación tiende a influir más sobre las longitudes de onda más largas. Los atardeceres rojos son un ejemplo.

Absorción:

En contraste con la dispersión, la absorción resulta en una pérdida efectiva de energía en la atmósfera. La absorción se produce en longitudes de onda determinadas. El vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono son los principales elementos que absorben la radiación solar. Los rangos de longitudes de onda en los cuales la atmósfera es particularmente transparente se los denomina ventanas atmosféricas

En la figura 4 podemos observar la relación entre las fuentes de energía y las características de la absorción atmosférica.

La figura 4 a) muestra la distribución espectral de la energía emitida por el Sol y por la Tierra.

En la figura 4 b) están sombreadas las regiones del espectro en las cuales la atmósfera bloquea la energía incidente.

En la figura 4 c) notamos que el rango de sensibilidad espectral del ojo (rango visible) coincide con una ventana atmosférica y con el máximo de energía proveniente del sol.

El calor emitido por la Tierra mostrado por la pequeña curva en la figura a) se detecta a través de las ventanas de 3 a 5 μm y de 8 a 14 μm , usando sensores térmicos.

Los sensores multispectrales detectan energía a través de múltiples rangos estrechos de longitud de onda que van desde el visible hasta la zona térmica del espectro.

El radar opera a través de una ventana en la región de 1 mm a 1 m.

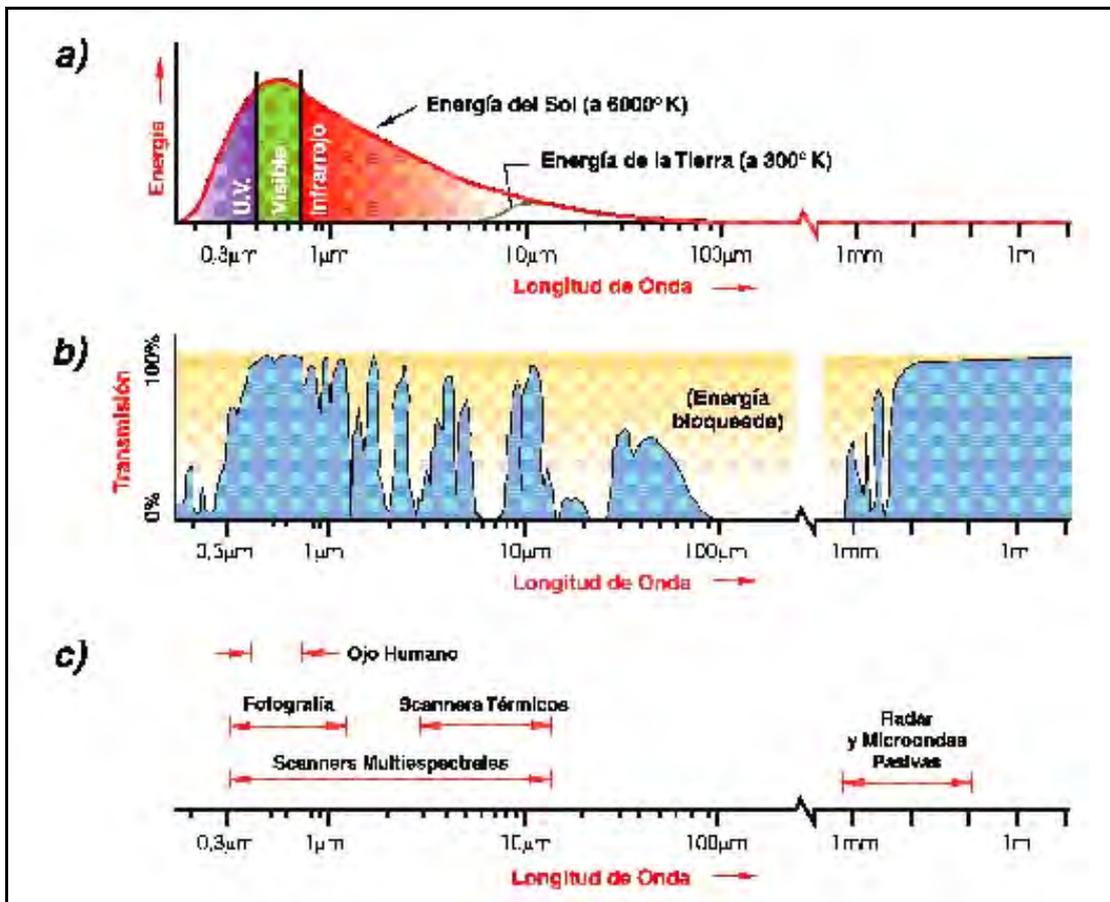


Figura 4: Características espectrales de: a) las fuentes de energía, b) efectos atmosféricos y c) sensores remotos. (Notar que la escala de longitud de onda es logarítmica).

INTERACCIONES DE LA ENERGÍA CON LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.

Hay tres formas posibles de interacción entre la energía incidente y la superficie terrestre. Esto se muestra en la figura 5, para un elemento de volumen de un lago. Parte de la energía incidente sobre el elemento es reflejada, absorbida y/o transmitida. Aplicando el Principio de Conservación de la Energía se pueden establecer los tres tipos de interacción:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

$E_I(\lambda)$ indica la energía incidente, $E_R(\lambda)$ la energía reflejada, $E_A(\lambda)$ la energía absorbida y $E_T(\lambda)$ la energía transmitida, en función, cada una de ellas, de la longitud de onda.

Debemos notar que la proporción de energía reflejada, absorbida y transmitida varía para los distintos elementos del terreno, dependiendo del tipo de material y de su condición. Estas diferencias nos permiten distinguir diferentes elementos en una imagen. Por otra parte, la dependencia con la longitud de onda significa que aún dentro de un mismo elemento la proporción de energía reflejada, absorbida y transmitida varía con las distintas longitudes de onda.

Estas variaciones con la longitud de onda dan por resultado el *color*. Por ejemplo decimos que un objeto es azul cuando refleja mucho en la parte azul del espectro.

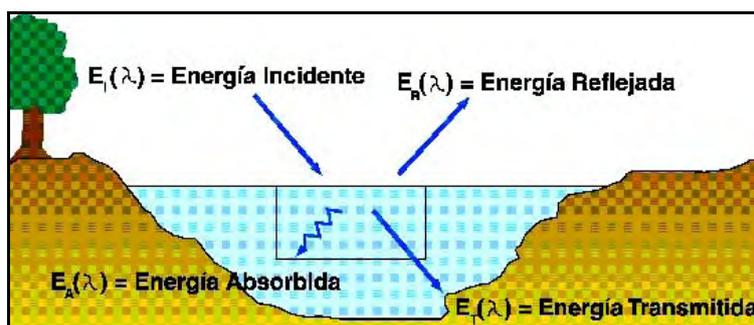


Figura 5: Interacciones básicas entre la energía electromagnética y la superficie terrestre.

RANGOS ESPECTRALES USADOS EN TELEOBSERVACIÓN

El significado de los diferentes rangos de longitud de onda está en el mecanismo de interacción entre la radiación electromagnética y los materiales observados. En el rango visible e infrarrojo la energía medida por un sensor depende de propiedades tales como la pigmentación, el contenido de humedad y la estructura celular para el caso de la vegetación, el contenido de minerales y humedad del suelo y el nivel de sedimentos que contiene el agua.

En el extremo térmico del rango infrarrojo, la radiación detectada depende de la capacidad calorífica y de las propiedades térmicas de la superficie y de zonas cercanas a la superficie. En el caso de las microondas, usando técnicas de radar, la rugosidad de la superficie terrestre y sus propiedades eléctricas son las que determinan la magnitud de la señal observada. En el rango de 20 a 60 Ghz, el oxígeno atmosférico y el vapor de agua tienen fuerte influencia en la transmisión y puede deducirse su presencia en las medidas efectuadas.

La figura 6 muestra como reflejan la energía en el visible y el infrarrojo, los tres materiales dominantes de la superficie de la Tierra: el suelo, la vegetación y el agua. Dado que cada una de estas curvas es característica del elemento indicado y permite identificarlo, se las suele llamar *firmas espectrales*.

SENSORES

En principio, los sistemas de teleobservación pueden recibir radiación electromagnética proveniente de la superficie de la Tierra en cualquier rango de longitudes de onda en el cual sea sensible el detector.

Sin embargo, debido a razones técnicas, a opacidad selectiva de la atmósfera terrestre, a la dispersión de la luz por parte de partículas atmosféricas y por la utilidad de los datos que se obtienen, se excluyen ciertas longitudes de onda. Los rangos más utilizados para usos de la tierra son de 0,4 a 0,12 micrones (visible e infrarrojo) y entre 30 y 300 milímetros (microondas).

Si volvemos a nuestro ejemplo inicial, debemos notar que nuestro ojo es sensible sólo a la parte del espectro que se indica como visible en la figura 3, a diferencia de los sensores remotos cuya sensibilidad varía desde el visible hasta el infrarrojo térmico, en el caso de los satélites que estamos tratando aquí, y hasta las microondas en el caso de los satélites activos (ERS1-2, RADARSAT, etc.)

Los sensores son dispositivos que reciben la energía, la convierten en valores digitales y la presentan en forma adecuada para obtener información sobre la zona observada.

Los sensores se dividen en sensores activos y sensores pasivos. Los sensores pasivos detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales; mientras que los sensores activos poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación, como por ejemplo el radar.

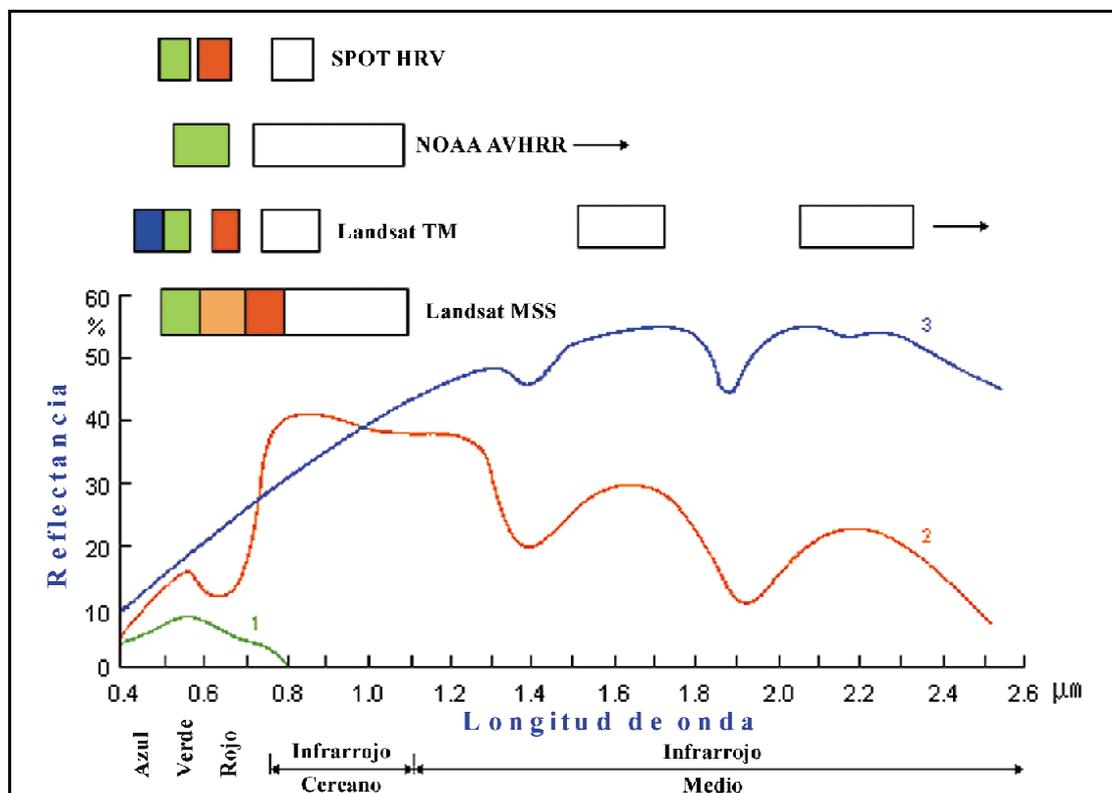


Figura 6: Respuesta de objetos de la superficie terrestre a la radiación incidente: 1.- Agua clara; 2.- Vegetación; 3.- Suelo.

Ambos tipos de sensores tienen como objetivo la observación de la superficie terrestre en toda su extensión y se los puede clasificar:

No generadores de imágenes: Trabajan en una sola longitud de onda y entre ellos se encuentran el altímetro y el magnetómetro.

Generadores de imágenes: Operan en varias bandas, barriendo por franjas perpendiculares al desplazamiento del satélite.

Ejemplos de sensores pasivos generadores de imágenes son:

Thematic Mapper (TM) de los satélites Landsat, el sensor multispectral XS de los satélites SPOT y el AVHRR de los satélites NOAA.

Sensores activos generadores de imágenes son:

El radar transportado por el satélite canadiense Radarsat y los satélites de la serie ERS de la Agencia Espacial Europea (ESA).

ADQUISICIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Hemos considerado las fuentes de energía electromagnética, su propagación a través de la atmósfera y su interacción con la superficie del terreno. Combinando estos factores resulta la "señal", que es la energía que recibe el sensor y de la cual se obtiene la información.

La detección de estas señales puede ser fotográfica o electrónica. El proceso fotográfico usa reacciones químicas sobre la superficie de una película sensible a la luz, capaz de detectar variaciones en una escena.

Los sensores electrónicos generan una señal eléctrica que corresponde a las variaciones de energía en la escena original. Un ejemplo familiar de un sensor electrónico es una videocámara.

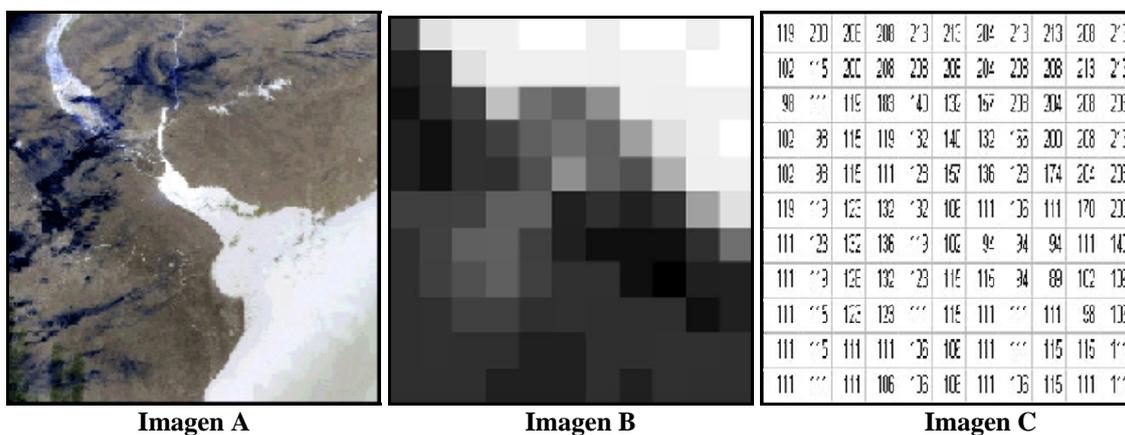


Figura 7: Carácter digital de la imagen, a) Subimagen digital original de 344 filas por 328 columnas b) Ampliación de 11x11 píxeles de la zona alrededor del círculo marcado en a). c) Números digitales correspondientes a la radiancia de cada pixel mostrado en b).

Una imagen es una representación digital de un objeto. Las imágenes que brindan los sensores remotos son representaciones digitales de la Tierra. Los datos de la imagen se almacenan en archivos de datos llamados "archivos imagen", en cintas magnéticas, discos de computadora u otro medio.

Los datos son sólo números. Estas representaciones forman imágenes cuando se las despliega sobre una pantalla.

El carácter digital del archivo imagen se puede observar en la figura 7. Aunque la imagen mostrada en a) parece ser una fotografía de tonos continuos, en realidad está compuesta por una matriz de valores discretos que son los elementos de la imagen o píxeles.

La intensidad de cada pixel corresponde al brillo promedio o "radiancia" medida electrónicamente sobre el área del terreno que corresponde a cada pixel. En la imagen se observa un total de 344 filas por 328 columnas de píxeles. En ella es imposible identificar los píxeles de forma individual.

La figura b) representa una zona de 11 por 11 píxeles, que es la ampliación del área marcada en a).

En c) se observan los números digitales individuales correspondientes a la radiancia promedio medida en cada pixel mostrado en b). Estos valores enteros positivos resultan de cuantificar la señal eléctrica digital del sensor en valores enteros positivos utilizando un proceso llamado conversión analógica a digital de la señal

SISTEMA SATELITAL

Para obtener una imagen satelital debemos tener un sistema satelitario. El sistema satelital, es el conjunto que forman el sensor y el satélite y cuyas características generales definen la resolución del sistema, es decir, la capacidad que éste tiene para resolver un elemento dado.

Haciendo referencia a nuestro ejemplo inicial, son los ojos que en vez de estar viendo el papel, están viendo la Tierra.

Ahora estudiaremos cómo ven "estos ojos". Esto se conoce con el nombre de resolución y hay cuatro tipos de **resolución** que definen a un sistema: **espacial**, **temporal**, **espectral** y **radiométrica**. Definiremos a continuación cada una de ellas:

-Resolución espacial: es la medida del objeto más pequeño que puede distinguir el sensor, o dicho en otras palabras, es el área que representa cada pixel en el terreno. Recordemos que cuanto mayor es la resolución espacial, menor es el número que la define. Por ejemplo, si un sensor tiene 10 metros de resolución decimos que tiene mayor resolución que uno que tiene 79 metros.

A nivel del sensor la resolución espacial está representada por su IFOV (campo de visión instantáneo del sensor). El IFOV es el ángulo sólido mínimo subtendido por la abertura del sensor. La figura 8 muestra la cobertura satelital en tierra, en ella se puede ver el ángulo máximo de barrido (FOV) que representa el área total observada por el satélite de acuerdo a sus características radiométricas. Vemos en la figura indicada la traza del satélite, es decir, su trayectoria.

Se debe tener en cuenta que el tamaño del pixel se modifica a lo largo del barrido del sensor debido a la curvatura de la tierra.

De acuerdo a las aplicaciones puede requerirse distinta resolución espacial. Por ejemplo, sobre la superficie terrestre puede haber grandes diferencias en áreas pequeñas, por ello es necesario poder observarlas con un sistema satelitario que tenga alta resolución, en cambio, en el mar los cambios suceden a gran escala y por lo tanto es necesario tener una cobertura mayor. Lo mismo ocurre con las observaciones meteorológicas, donde los frentes de nubes deben ser cubiertos en forma extendida (baja resolución).

-Resolución espectral: se refiere al rango de longitudes de onda, en el espectro electromagnético, que puede registrar el sensor. O sea, las características espectrales del sensor están asociadas con la cantidad de bandas en que opera el sensor y con el rango de longitudes de onda que ellas abarcan.

Por ejemplo, la banda 1 de las imágenes NOAA/AVHRR registra energía entre 0,58 y 0,68 micrones, en la parte visible del espectro.

Si el sensor registra un ancho rango de longitudes de onda en el espectro electromagnético se dice que tiene baja resolución espectral y si el rango es angosto, se dice que tiene alta resolución.

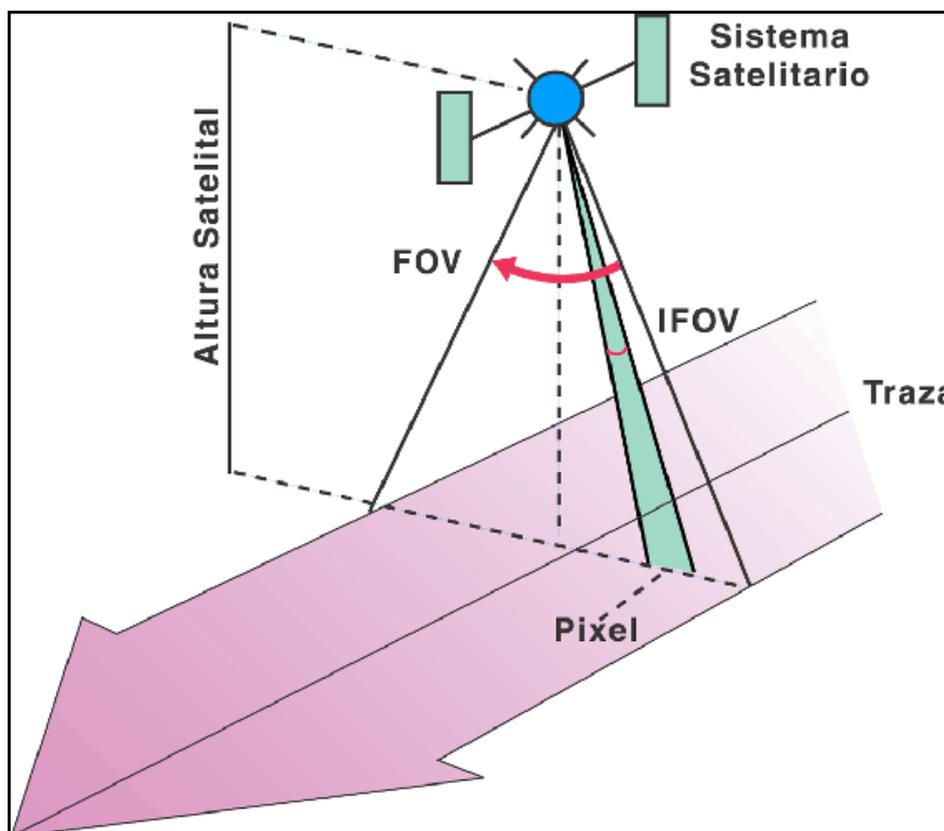


Figura 8: Cobertura en tierra.

Por ejemplo, el sensor pancromático del SPOT tiene baja resolución porque registra entre 0,51 y 0,73 micrones. En cambio, la banda 3 Landsat TM registra entre 0,63 y 0,69 micrones, se trata de un sensor de resolución espectral fina.

En general, cuanto mayor es el número de bandas de un sensor y menor el ancho de las mismas, mejores son los resultados obtenidos.

Resolución radiométrica:

Es la capacidad que tiene el sensor de distinguir la intensidad de energía proveniente del objeto. Es decir, la digitalización de la escena, la energía que proviene del objeto se representa con valores digitales o contajes y por lo tanto una cuenta equivale a una determinada cantidad de energía según el sensor utilizado.

Luego, la resolución radiométrica está relacionada con la sensibilidad radiométrica y el rango dinámico con que se ha construido el sensor. Estos rangos pueden variar por ejemplo entre 0 y 1024 (como es el caso de los canales visibles del NOAA), entre 0 y 255 (para el caso del SPOT) y entre 0 y 1024 (para algunos canales del Landsat).

Esto significa que si la energía se distribuye en un rango mayor, el sensor es más sensible a pequeños cambios de energía, tal es el caso de aquellos sensores construidos para mediciones sobre el agua.

Las diferencias entre valores de intensidad de radiación solar reflejada por distintos tipos de agua, son muy pequeñas para una misma longitud de onda.

En cambio, las diferencias entre los distintos elementos que cubren la superficie terrestre pueden ser de uno o dos órdenes de magnitud mayor que sobre el agua. Por lo tanto, en el primer caso se necesita mayor resolución espectral que en el segundo.

Resolución temporal:

Se refiere a la frecuencia en el tiempo con la cual el sensor obtiene imágenes de un área particular. Por ejemplo, el satélite Landsat puede ver la misma área del globo cada 16 días; SPOT cada 26 días.



Figura 9: Satélite NOAA 15.

La resolución temporal es un elemento importante cuando se estudian cambios en la superficie de la tierra o del océano. Mientras en la superficie de la tierra los cambios se producen en días o años, en la atmósfera o en la

superficie del mar se producen en horas. Por esa razón se necesita mayor frecuencia de observación en el mar que en la tierra.

También interesa la hora del día, pues a mediodía se eliminan las sombras que son un elemento perturbador para el estudio de vegetación, pero, acentúan el relieve, lo cual favorece los estudios geológicos.

SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Los satélites meteorológicos que han sido diseñados como herramienta, para el auxilio en la elaboración de pronósticos del tiempo y para el monitoreo del clima, generalmente incorporan sensores que cubren un área mayor que los sistemas dedicados a la observación de la Tierra. Los satélites meteorológicos tienen las ventajas de poseer una amplia cobertura global y gran resolución temporal. Por ello, han resultado útiles en el estudio de recursos naturales cuando se requiere el monitoreo con alta frecuencia de áreas extendidas y no es necesario observar detalles.

Estos satélites, así como los utilizados para observación de recursos naturales operan con bandas espectrales de longitudes de onda similares; la mayor diferencia entre ellos radica, como hemos dicho, en la resolución espacial. Mientras que los datos obtenidos para observación de la tierra tienen tamaño de pixel menor que 100 metros, los de observación meteorológica tienen píxeles de 1km x 1km.

Muchos países han lanzado satélites meteorológicos con diferentes órbitas y diseños. Nosotros nos ocuparemos, en particular, de los satélites NOAA.

SATÉLITES POLARES Y GEOSINCRÓNICOS

Los dos grupos principales de satélites meteorológicos en uso actualmente son aquellos que poseen órbita polar y los que tienen órbita geosincrónica.

Orbita Polar:

(O heliosincrónica), en la cual el plano orbital rota en un año al mismo tiempo que el movimiento aparente del sol en ese mismo tiempo. La altura de la órbita es de alrededor de 700 a 1500 km.

Orbita geosincrónica:

Los satélites que describen estas órbitas son geoestacionarios, es decir, permanecen en una posición relativa constante sobre el ecuador. La altura orbital necesaria para mantener dicha posición es de 36000 km sobre la superficie terrestre.

Los **NOAA**, los Landsat y los **SPOT** son satélites que tienen órbitas similares, es decir, casi polares y heliosincrónica, a diferencia de la serie **GOES** (**G**eostacionary **O**perational **E**nvironmental **S**atellite) que son geoestacionarios.

SATÉLITES NOAA

La Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos (**N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration, **NOAA**) ha patrocinado la puesta en órbita de varios satélites de órbita polar para recolectar datos de la Tierra.

Estos satélites estaban destinados originariamente para aplicaciones meteorológicas, pero sus datos resultaron útiles para aplicación en diferentes campos que van desde la oceanografía hasta la agronomía.

El primero de estos satélites fue lanzado en 1978, el **TIROS-N**. A éste le sucedieron los NOAA 6 a NOAA 14 (Figura 9). Estas misiones llevan a bordo un instrumento denominado **A**dvanced **V**ery **H**igh **R**esolution **R**adiometer (**AVHRR**).

Este instrumento fue diseñado especialmente para proveer información destinada a estudios de Oceanografía, Hidrología y Meteorología. Luego resultó útil también para estudios de Agronomía. La primera versión del instrumento recibía información en cuatro bandas. En la actualidad están en órbita el NOAA 12 y NOAA 14 que disponen de 5 bandas y el NOAA 15 (ver Tabla 1).

El primero de ellos fue lanzado en 1991 y el segundo en 1994. Ambos tienen un período de revolución de 102 minutos.

El 13 de mayo de 1998 se lanzó el NOAA 15 que reemplazará al NOAA 12, dispone de 6 canales de recepción de datos y tiene un tiempo de vida estimado de 12 años. Este último ha superado un período de prueba de dos meses para ajuste y calibración y está operativo desde diciembre de 1998.

NOAA 15 realizará mejores mediciones de temperatura y humedad atmosféricas, en particular en la tropósfera, en presencia de nubes, lo que resultará en datos más precisos independientemente del estado del cielo.

Parámetros	NOAA -6, -7, -8, -9, -10, -11, -12, -13, -14, -15
Lanzamiento	27/8/79, 23/3/81, 28/3/83, 12/12/84, 17/9/85, 24/9/86, 14/5/91, 30/12/94, 13/5/98
Altitud	833
Inclinación de la órbita	98°
Período de la órbita	102
Órbitas por día	14,1
Ancho de barrido	2.400 km
Cobertura	cada 12 horas
AVHRR canales espectrales	5 canales, NOAA 15 6 canales
Revisita	17 días

Tabla 1: Características de las Misiones NOAA-6 a NOAA-15.

Los satélites de órbita polar llevan también, instrumentos de búsqueda y rescate utilizados internacionalmente para la localización de barcos y aviones en emergencia.

El uso de estos satélites en búsqueda y rescate ha permitido salvar alrededor de 9.000 vidas a partir de la implementación del sistema **Search and Rescue Satellite-aided Tracking (SARSAT)**.

Los datos del AVHRR se archivan en dos formas diferentes:

- 1.- en alta resolución que se los denomina datos de cobertura de área local (LAC).
- 2.- todos los datos se archivan también remuestreados en una resolución nominal de 4 km a los cuales se designa como datos de cobertura de área global (GAC).

Toda la Tierra puede ser observada en 14,5 días. Se pueden tener 3 o 5 bandas según si la toma de datos es nocturna o diurna. La frecuencia correspondiente a dichas bandas es la siguiente:

Banda 1: visible, 0,58-0,68 μm

Esta banda corresponde a la reflectancia de la vegetación sana y es importante para discriminación de vegetación.

Banda 2: cercano infrarrojo, 0,725-1,10 μm

Esta banda es representativa de la cantidad de vegetación presente en una escena. *Es útil para identificación de cosechas* y refuerza el contraste entre suelo y cosecha y entre tierra y agua.

Banda 3: infrarrojo térmico, 3,55-3,93 μm

Esta es una banda térmica que puede usarse para distinguir hielo o nieve. También es útil para detectar fuego.

Banda 4: infrarrojo térmico, 10,50-11,50 μm

Esta banda es útil para control de cosechas y de vegetación. También se puede usar para ubicar actividad geotérmica.

Banda 5: infrarrojo térmico, 10,50-11,50 μm

Coincide con la banda 4 en los NOAA pares, 11,50-12,50 μm en los impares.

Micrones	Landsat MSS (1,2,3,4)	Landsat TM (4,5)	Spot XS	Spot Pan	NOAA AVHRR*
.5		Banda 1			
.6	Banda 1	Banda 2	Banda 1	Banda 1	Banda 1
.7	Banda 2	Banda 3	Banda 2		
.8	Banda 3				
.9	Banda 4	Banda 4	Banda 3		Banda 2
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.6		Banda 5			
1.7					
1.8					
1.9					
2.0					
2.1					
2.2		Banda 7			
2.3					
2.4					
2.5					
2.6					
3.0					
3.5					
4.0					Banda 3
5.0					
6.0					
7.0					
8.0					
9.0					
10.0					
11.0					Banda 4
12.0		Banda 6			Banda 5
13.0					

* NOAA - AVHRR banda 5 no está en el satélite, NOAA 10, pero está en los siguientes.
 Figura 10: Comparación de bandas multiespectrales

Los usos coinciden con los de la banda 4. La resolución radiométrica del AVHRR es tal que cada pixel puede tomar valores que van de 0 a 1023.

En la figura 10 puede verse cuál es la longitud de onda que corresponde a cada banda para los sensores de los distintos satélites, NOAA / AVHRR junto con Landsat MSS y Landsat TM, SPOT XS y SPOT Pancromático.

La figura 11 muestra la imagen de la República Argentina. Como usted recordará se trata de la imagen de la cual partimos, obtenida por el sensor AVHRR del satélite NOAA12.

Ahora podemos mirarla con más detalle e inclusive hacer algunas comparaciones con imágenes obtenidas por otros satélites.

La figura 12 muestra imágenes de la Península de Valdés tomadas con satélites Landsat (fig. a) y SPOT (fig. b).

De la comparación de las figuras 11 y 12, tomando como referencia la Península de Valdés surge que:

1. La imagen NOAA muestra la República Argentina en su totalidad y la península de Valdés es una parte pequeña de esta imagen.
2. La imagen Landsat por su área de cobertura menor que NOAA y su resolución mayor, muestra claramente la península con más detalle.
3. La imagen SPOT por tener mayor resolución y menor área de cobertura muestra la península en forma más detallada aún que la imagen Landsat y el nivel de detalles presente en la imagen es todavía mayor.

En las imágenes NOAA/AVHRR aparecen distorsiones geométricas resultantes del ancho campo de vista del sensor y también debido a los efectos de la curvatura de la Tierra

La figura 13 muestra una imagen NOAA/AVHRR en banda 3 que cubre la Pcia. de Buenos Aires, Entre Ríos, sur de Santa Fe y el Uruguay.

El tamaño del pixel en tierra es mayor en los bordes laterales de la imagen que en el centro de la misma, esto se debe a que el ángulo de observación de los satélites NOAA es grande.

Los píxeles desplegados en la pantalla son todos del mismo tamaño pero las áreas equivalentes en el terreno no lo son. Por otra parte, por cubrir 2700 km y al estar a 800 km de altura, se nota el efecto de la curvatura terrestre, esto produce la compresión en los bordes de la imagen como se observa en el lado derecho de la fig. 13a. La figura 13b muestra la misma imagen a la cual se le han aplicado correcciones geométricas para estas distorsiones.

Los satélites NOAA proveen una imagen diaria diurna en el visible y dos imágenes por día en el infrarrojo térmico. La figura 14 muestra el uso de las imágenes NOAA/AVHRR para el cálculo de temperatura superficial del mar. Aquí se muestra el mapa de temperatura superficial del mar correspondiente al océano atlántico, frente a la costa de las provincias de Buenos Aires, Chubut y Río Negro.

Además de ser usadas para cálculo de temperatura superficial del mar, los datos AVHRR se usan intensivamente en distintas aplicaciones tales como estudio de cobertura de nieve, huracanes, monitoreo de inundaciones, estudios de vegetación, análisis de humedad de suelos, detección de incendios, detección de tormentas de arena o de tierra y aplicaciones a geología como son las erupciones volcánicas y drenajes naturales.

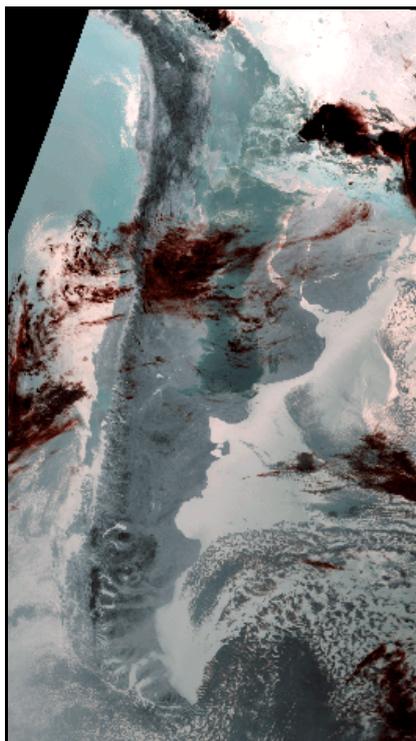


Figura 11: Imagen NOAA / AVHRR, combinación de bandas 3, 4 y 5.

Los datos del AVHRR han sido muy utilizados en monitoreo de vegetación.

Las bandas típicas utilizadas a este fin son la banda visible (0,58 a 0,68 μm) y la banda 2 del cercano infrarrojo (0,73 a 1,10 μm).

Varias combinaciones de las bandas 1 y 2 han demostrado ser indicadores sensibles de la presencia y del estado de la vegetación verde.

Estas cantidades matemáticas se denominan índices verdes o índices de vegetación.

En forma rutinaria se calculan, a partir de los datos del AVHRR, dos índices, el (VI) ó índice verde simple y el (NDVI) índice verde normalizado.

Imagen A



Imagen B



Figura 12: Península de Valdés, a) imagen LANDSAT 5 TM y b) imagen SPOT 2

Imagen C

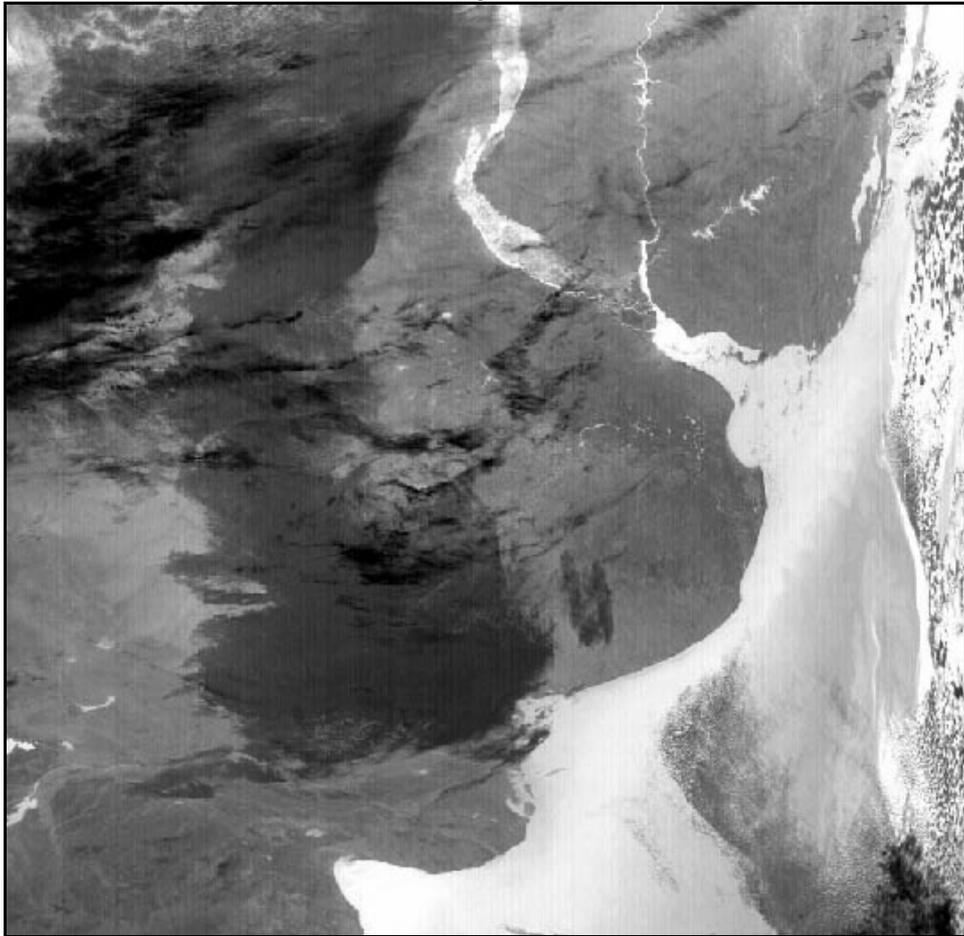


Imagen D



Figura 13: Imágenes NOAA/AVHRR, c) imagen cruda y d) imagen corregida geoméricamente.

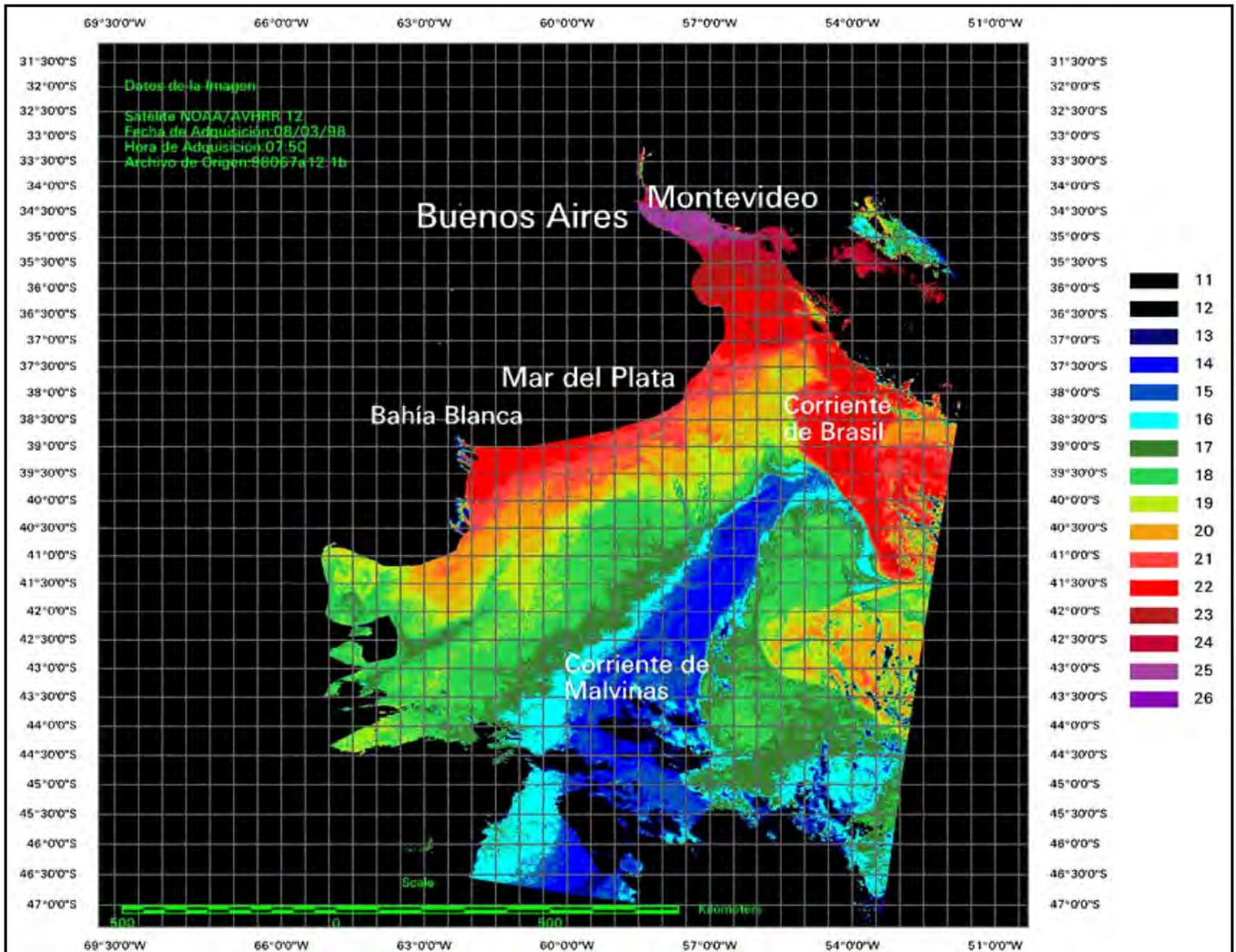


Figura 14: Imagen térmica de la costa atlántica, obtenida con bandas 4 y 5 de NOAA/AVHRR.. Los colores azules indican las menores temperaturas y los naranjas rojos indican las temperaturas más altas. Las zonas negras corresponden a áscaras de tierra y de nubes.

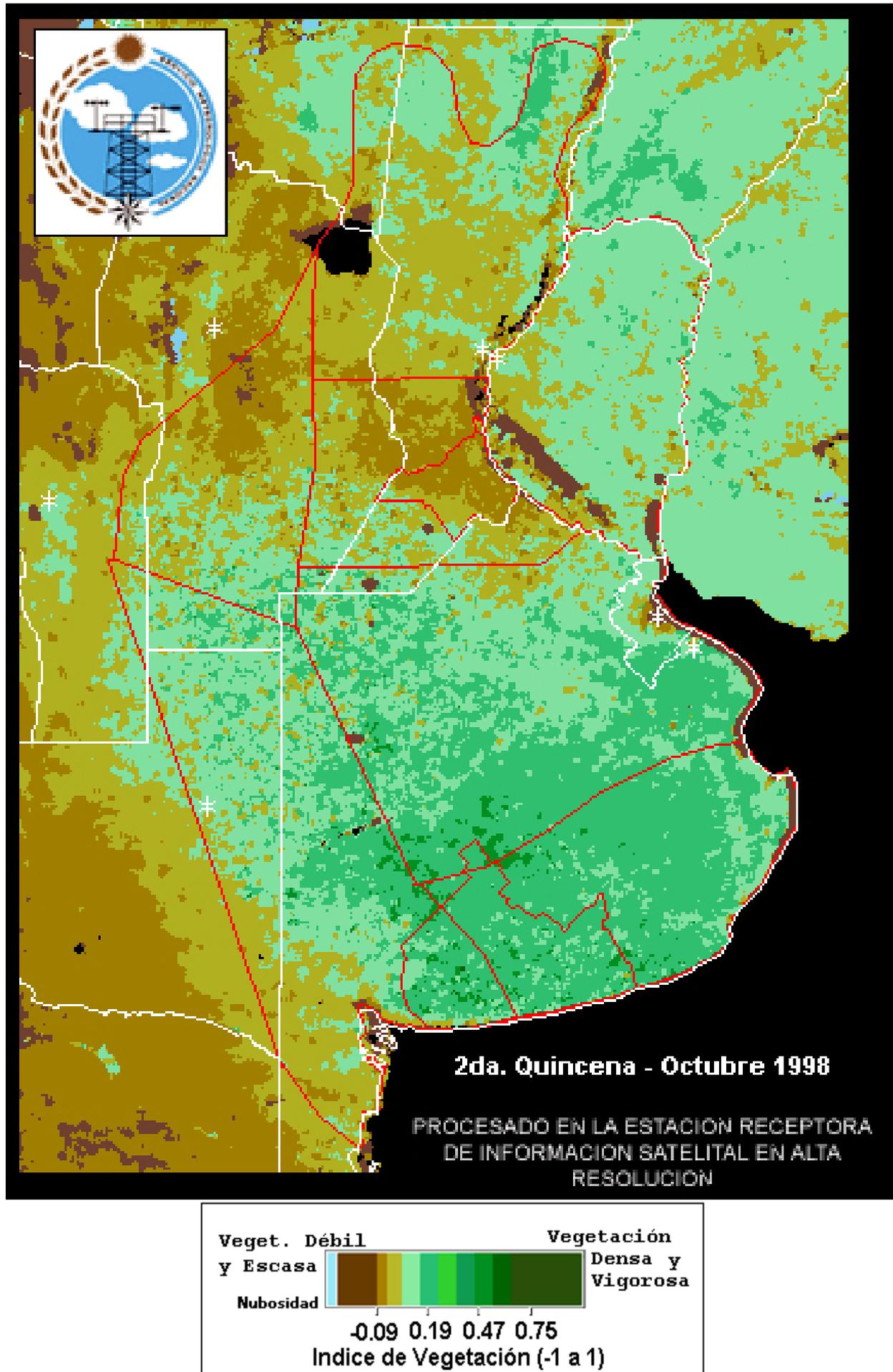


Figura 15: Imagen de índice verde normalizado. Imagen cedida por el Servicio Meteorológico Nacional.

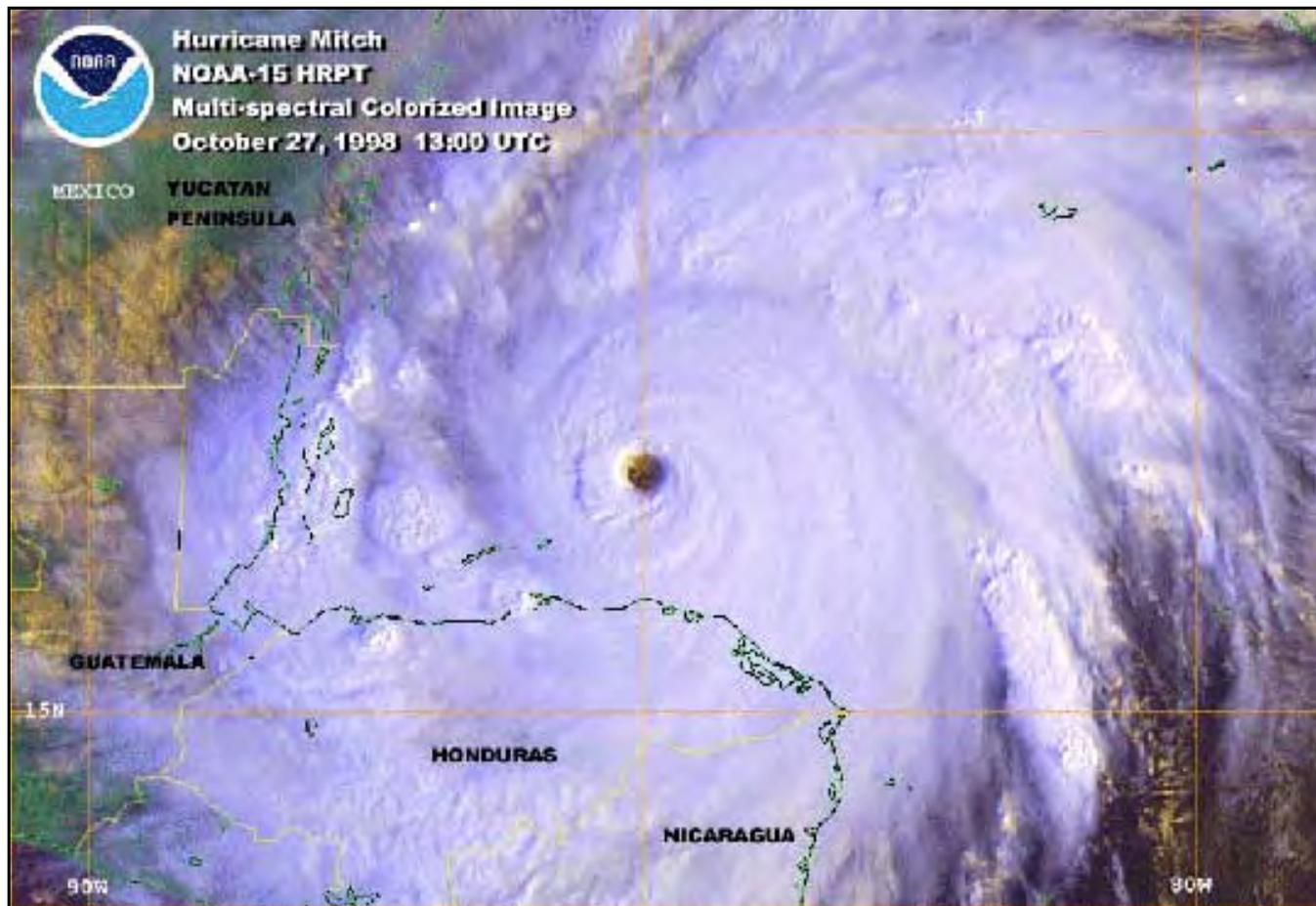


Figura 16: Aplicaciones meteorológicas del satélite NOAA (Imagen cedida por NOAA)

Estos índices se calculan haciendo la diferencia de la banda 2 menos la banda 1:

$$IV = B2 - B1$$

Y el índice verde normalizado:

$$NDVI = \frac{B2 - B1}{B2 + B1}$$

Las áreas con vegetación tienen, generalmente, altos valores de estos índices porque tienen alta reflectancia en el cercano infrarrojo (B2) y baja en el visible (B1).

En cambio, las nubes, el agua y la nieve tienen mayor reflectancia en el visible que en el cercano infrarrojo.

Por lo tanto, estos elementos tienen valores negativos de ambos índices.

Las rocas y el suelo sin vegetación tienen valores de reflectancia muy similares en ambas bandas y esto resulta en un índice próximo a cero.

Se prefiere usar el índice verde normalizado (Figura 15) para monitoreo global de vegetación porque ayuda a compensar las diferentes condiciones de iluminación, pendiente de la superficie, aspecto general y otros factores externos.

La figura 16 muestra una imagen del Huracán Mitch que asoló la zona de América Central, en octubre de 1998.

Está indicado en verde el contorno territorial y puede verse en la imagen claramente el ojo del huracán. Es una imagen obtenida por el satélite NOAA 15 en octubre de 1998.

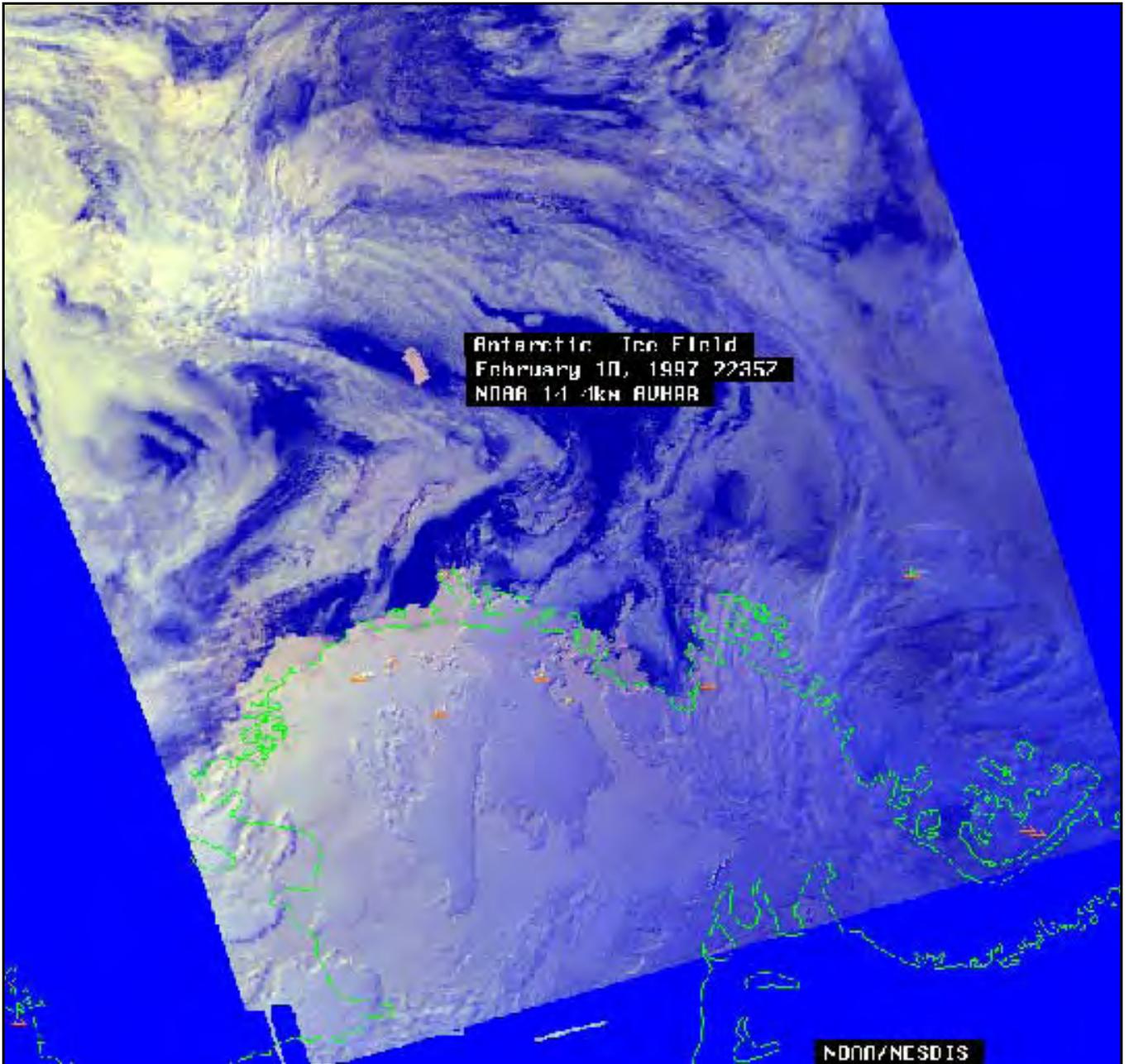


Figura 17: Aplicación a campos de hielo.

La figura 17 muestra una imagen de un campo de hielo en la Antártida. En la parte superior de la imagen se observa el mar casi cubierto de nubes. Al pie de la imagen, se ve en verde el contorno del continente y se puede distinguir la Península Antártica, la isla Alejandro I (horizontal en la imagen). Se trata de una imagen obtenida por el satélite NOAA 14 con resolución de 4 km (GAC).



Figura 18: Detección de incendios.

En la figura 18 se presenta otra aplicación de las imágenes NOAA, la detección de incendios. La imagen fue tomada con el satélite NOAA 14 en alta resolución, 1 km, se trata de la combinación de las bandas 4, 2 y 1. Se ven las provincias de Buenos Aires y parte de La Pampa. Puede observarse, el incendio en el Valle de Quehué en La Pampa, en el centro la columna de humo, marcada con un recuadro. Se ha seleccionado la combinación de las bandas de modo de obtener una adecuada visualización de la columna de humo.

Así llegamos al final de la primera etapa
de nuestro viaje hacia el fantástico mundo de los satélites.
De ahora en más, cuando veamos en televisión o en un diario
una imagen satelital, podemos decir: yo sé como la obtuvieron, ésa es una imagen NOAA!

GLOSARIO

Altura satelital: distancia de la superficie de la Tierra al satélite

Ángulo de barrido: ángulo que se forma desde la dirección del nadir hasta la dirección del punto de observación.

Ángulo instantáneo de observación: IFOV, del inglés instantaneous field of view, es el ángulo sólido mínimo subtendido por la abertura del radiómetro

Archivo header: del inglés. Es un archivo que se encuentra generalmente antes de los valores de la imagen en las cintas o CD-ROMs y que contiene información acerca de los datos, tales como número de bandas, coordenadas de los extremos de la imagen, proyección del mapa, etc.

Banda: conjunto de valores del archivo de datos correspondiente a una parte específica del espectro electromagnético de la luz reflejada o del calor emitido (rojo, verde, azul, cercano infrarrojo, infrarrojo, térmico, etc.). A veces se lo llama canal.

Bit: un dígito binario, que significa un número que puede tener dos valores posibles, 0 ó 1, u "ON" u "OFF". Un conjunto de bits puede tener distintos valores, dependiendo del número de bits usados. El número de valores

que se pueden expresar por un conjunto de bits es 2 elevado a la potencia dada por el número de bits usados. Por ejemplo, el número de valores que pueden expresarse por tres bits es 8 ($2^3 = 8$).

Bpi: bits por pulgada. Unidad de almacenamiento de datos en cinta magnética.

Byte: conjunto de 8 bits.

Campo de visión: FOV, del inglés field of view, ángulo máximo de barrido, representa el área total observada por el satélite de acuerdo a sus características radiométricas.

Detector: es el dispositivo de un sensor que registra radiación electromagnética.

Ecuilización de histograma: proceso de redistribución de valores de pixel de modo que haya aproximadamente el mismo número de píxeles con cada valor dentro de un rango. El resultado es un histograma plano.

Espectro electromagnético: rango de radiación electromagnética que se extiende desde las ondas cósmicas hasta ondas de radio, caracterizadas por la frecuencia o longitud de onda.

Geostacionaria (órbita): órbita ecuatorial con una altura sobre la Tierra suficiente para que la velocidad del satélite alcance la velocidad de rotación de la misma. Los satélites en esta órbita parecen estar siempre en la misma posición en el cielo, respecto a la estación de tierra.

Gigahertz: (Ghz) 10^9 hertz.

Hertz: medida de frecuencia que indica una vez por segundo

Histograma: gráfico de distribución de datos, o número de píxeles que tienen cada valor posible del archivo de datos. Para datos de una sola banda, el eje horizontal del histograma es el rango de todos los posibles valores del archivo de datos. El eje vertical es el número de píxeles que tienen cada valor del archivo.

Imagen: representación bidimensional de los objetos que componen la escena observada mediante valores discretos obtenidos a partir de un sistema óptico

Inclinación: ángulo determinado por la intersección entre el plano del ecuador y el plano de la órbita medido desde el Ecuador y en sentido antihorario hasta alcanzar la trayectoria del satélite.

Irradiancia: potencia emitida por la fuente (el sol) dividida por la superficie de una esfera a la distancia dada.

Línea de barrido: línea total observada por el sensor definida por la intersección entre el plano tangente a la superficie terrestre y el plano de observación.

Micron: millonésima parte del metro.

Modo ascendente: sentido de navegación en el cual un satélite registra datos en su pasaje en sentido Sur-Norte

Modo descendente: sentido de navegación en el cual un satélite registra datos en su pasaje en sentido Norte-Sur

Nadir: o punto subsatelital, es el punto que se halla sobre la superficie terrestre y a la menor distancia existente entre la tierra y el satélite

Pixel: elemento de resolución del sensor sobre la superficie terrestre y abarca el área determinada por la intersección entre el IFOV y la superficie observada.

Radiación electromagnética: energía transmitida a través del espacio en forma de ondas eléctricas y magnéticas.

Radiancia: cantidad de potencia dispersada en una dirección particular por unidad de ángulo sólido.

Reflectancia: es el cociente entre la energía reflejada por un elemento del terreno y la energía incidente sobre dicho elemento del terreno.

Sensor: dispositivo que reúne la energía, la convierte en valores digitales y la presenta en forma adecuada para extraer información sobre el área observada.

Sistema de información geográfica:(SIG), en inglés GIS; sistema único diseñado para una aplicación particular que almacena, refuerza, combina y analiza capas de datos geográficos para producir información interpretable. Un SIG puede incluir imágenes computarizadas, mapas, datos estadísticos y otros datos necesarios para un estudio, así como software computarizado y conocimientos. Los SIG se usan para resolver problemas complejos de planificación geográfica y problemas de gobierno.

Sistema de Posicionamiento Global: del inglés Global Positioning System (GPS). Un sistema satelital, que, utilizado con un receptor adecuado permite al receptor calcular su ubicación (lat/lon) y su altura sobre el nivel del mar. Esto es útil para buques, puesto que su posición no es fija.

Tamaño de celda: área que representa un pixel, medida en unidades de mapa. Por ejemplo, una celda en la imagen puede representar 30 x 30 pies en el terreno. A veces se lo llama tamaño de pixel.

Tiempo de revisita: intervalo de tiempo que transcurre entre dos pasadas del satélite por la misma área.

Tiff (datos): del inglés Tagged Image File Format Data, es un formato de archivo de datos desarrollado por una empresa de Washington, en 1986 para transportar datos con facilidad.

Transmitancia: cantidad de irradiancia solar que llega al suelo relativa a la que alcanzaría la tierra si no hubiera atmósfera.

Traza: es la línea imaginaria que resulta de la intersección entre el plano de la órbita y el plano tangente a la superficie terrestre

Umbral: en inglés threshold, un límite, o punto de corte, usualmente el valor del error máximo aceptable en un análisis.

BIBLIOGRAFIA

- " Remote Sensing and Image Interpretation", Lillesand, T.M. - Kiefer, R. W., 3° edición, Editorial John Wiley & Sons, Inc, 1994.
- " ERDAS Field guide ", 3° edición, Editorial ERDAS, Inc, 1995.
- " Satellite Oceanography. An introduction for oceanographers and remote-sensing scientists", Robinson, I. S., Editorial Ellis Hordwood Limited, 1985.
- " Remote Sensing Digital Image Analysis, An introduction.", Richards, J. A., Editorial Springer-Verlag, 1986.
- "NOAA Polar Orbiter data", National Oceanic Atmospheric Administration (www2.ncdc.noaa.gov/docs)
- "Perturbaciones introducidas por la atmósfera y la superficie terrestre en las bandas ópticas de la radiación electromagnética solar. Su importancia en la teledetección." Laura Frulla. Tesis doctoral, Dto. de Física de la UBA, 1992.

COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES
Av. Paseo Colón 751 (1063) - Buenos Aires - Argentina Tel: (54-11) 4331- 0074
educ@conae.gov.ar - www.conae.gov.ar