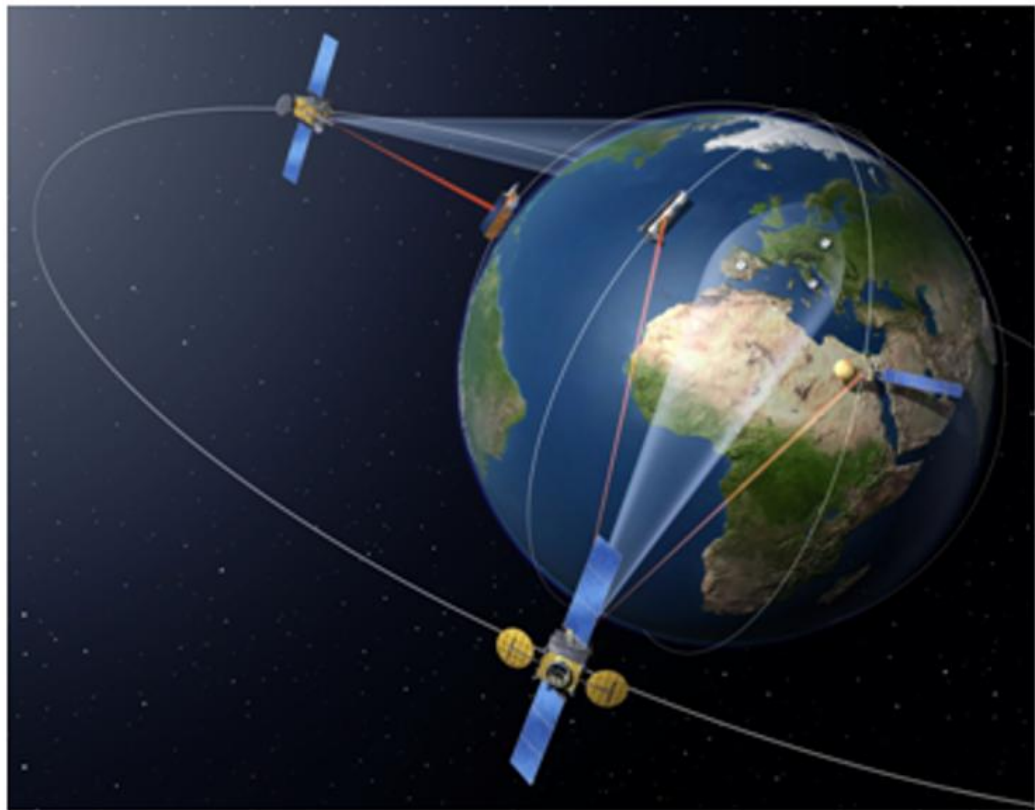




Universidad Nacional de San Juan

2016

# NOCIONES SOBRE TELEDETECCION



*Laboratorio de Procesamiento de Imágenes y SIG*

*Instituto de Investigaciones Mineras*

*Facultad de Ingeniería*

*Autores:*

*María Valentina Soria*

*María Anaélica Matar de Saavis*

**INDICE**

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>4</b>
<b>TIPOS DE SATELITE SEGÚN SU ORBITA Y COBERTURA.....</b>	<b>8</b>
<b>LAS BASES FISICAS DE LA TELEDETECCION.....</b>	<b>15</b>
<b>LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.....</b>	<b>25</b>
<b>LAS IMÁGENES SATELITALES.....</b>	<b>45</b>
<b>APLICACIONES DE LAS IMÁGENES.....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....</b>	<b>78</b>

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Teledetección Espacial. ....	4
Ilustración 2. El espectro electromagnético y sus relaciones. ....	5
Ilustración 3. Los dos tipos de información generada en sensores remotos y el flujo normal de su procesamiento, cualquiera sea la disciplina que la emplea. ....	6
Ilustración 4. Evolución de los sistemas aerotransportados. ....	8
Ilustración 5. Sistemas de Observación Global. ....	9
Ilustración 6. Sistemas geoestacionarios. ....	10
Ilustración 7. Programa Satelital Landsat. ....	11
Ilustración 8. Programa Satelital Argentino SAC. ....	12
Ilustración 9. Elementos de un sistema de teledetección. ....	16
Ilustración 10. El espectro electromagnético y sus longitudes de onda. ....	17
Ilustración 11. El espectro electromagnético y los sensores. ....	18
Ilustración 12. Comparación de las ventanas atmosféricas (bandas) entre Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI y Sentinel-2 MSI. ....	20
Ilustración 13. “Firma” espectral de algunos materiales comunes de la corteza. Para cada longitud de onda ( $\lambda_i$ ) se tiene un valor específico de reflectancia espectral ( $\rho_i$ ). ....	21
Ilustración 14. La energía en los sensores activos y pasivos. ....	23
Ilustración 15. Comparación entre imágenes espectrales y radar. ....	24
Ilustración 16. Fotografías aéreas de zonas mineras. ....	25
Ilustración 17. El fotograma, su solapamiento, dirección de vuelo y ángulo de toma. ....	29
Ilustración 18. Como se genera la visión estereoscópica. ....	29
Ilustración 19. Estereoscopio de espejos. ....	32
Ilustración 20. Geometría de las fotografías aéreas. ....	34
Ilustración 21. Modelos de drenaje. A. Dendrítico. B. Radial. C. Rectangular D. Enrejada. ....	43
Ilustración 22. Resolución espacial para diferentes sensores. ....	47
Ilustración 23. Comparación de resolución espacial para la mina Veladero. ....	48
Ilustración 24. Resoluciones de diferentes satélites y sensores remotos. ....	48
Ilustración 25. Comparación de la resolución espectral para diferentes sensores. ....	51
Ilustración 26. Niveles de resolución radiométrica. ....	52
Ilustración 27. Monobandas en tonos de grises y combinación falso color compuesta (FFC) de las bandas 5-4-3. Zona de Veladero. Imagen Landsat 5 TM. ....	53
Ilustración 28. Mina Escondida, Chile (cobre). ....	54

## Índice de tablas

Tabla 1. Contenido de información de los varios rollos con respecto a distintos aspectos de investigación. ....	33
Tabla 2. Aplicación de la resolución espacial adecuada. ....	50
Tabla 3. Categorías de coberturas del terreno cartografiables con imágenes de satélites. ....	72

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Equivalencia entre unidades de medida de la energía electromagnética. ....	17
Ecuación 2. Ecuación de la escala ....	27
Ecuación 3. Exageración vertical. ....	36

## INTRODUCCION

*Se llama percepción remota o teledetección espacial a una serie de procesos que permiten obtener información sobre las propiedades físicas de los objetos, los fenómenos geológicos, los recursos naturales y las actividades antrópicas en base a mediciones y observaciones realizadas desde cierta distancia, es decir, sin estar en contacto con ellos.*



Ilustración 1. Teledetección Espacial.

Los sistemas de teledetección más comunes miden variaciones en el campo de la energía electromagnética (EEM) provocadas por los objetos o fenómenos cuya identificación se busca. Si bien existen otras fuerzas fundamentales en la naturaleza (la gravitación, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil) cada una con un papel distinto. El electromagnetismo comprende la atracción entre partículas con cargas eléctricas o magnéticas opuestas, incluyendo desde la radiación de onda larga llamada “ondas de radio” hasta la de onda corta conocida como “rayos X” y “Rayos gamma”. Es el electromagnetismo la fuerza que une grupos de átomos para formar moléculas y es de este modo la causa fundamental de la estructura de la materia tal como la conocemos.

De acuerdo con esto, resulta que cada material de la superficie terrestre: plantas, rocas, minerales, toda la fauna (incluidos nosotros), al estar compuestos por moléculas diversas y tener así estructuras distintas, tendrá características electromagnéticas diferentes y la

teoría nos dice que si podemos medir esas diferencias estaríamos en condiciones de definir de qué material se trata.

Si buscamos más por qué, debemos remitirnos al físico danés Niels Bohr, quien demostró que los electrones ocupan órbitas o capas discretas que rodean al núcleo, en una cantidad para cada átomo determinada por la carga eléctrica del núcleo, la que a su vez se debe a la cantidad de protones que contenga ese núcleo, justamente la clave de la identidad química de cada átomo. Cuando un electrón cae de una órbita externa a una órbita interior emite un fotón. La longitud de onda de este fotón está determinada por las órbitas particulares entre las que el electrón efectúa la transición. Y esta es la razón de que un espectro, que registra las longitudes de onda de los fotones, revele qué elementos químicos conforman el objeto que se ha captado.

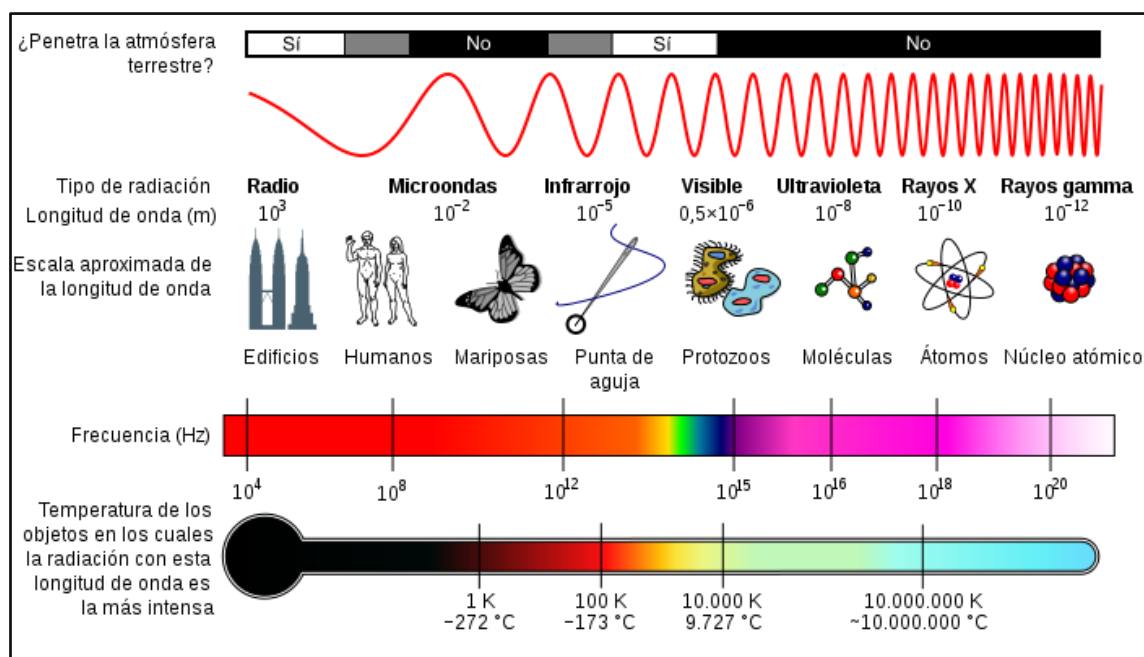
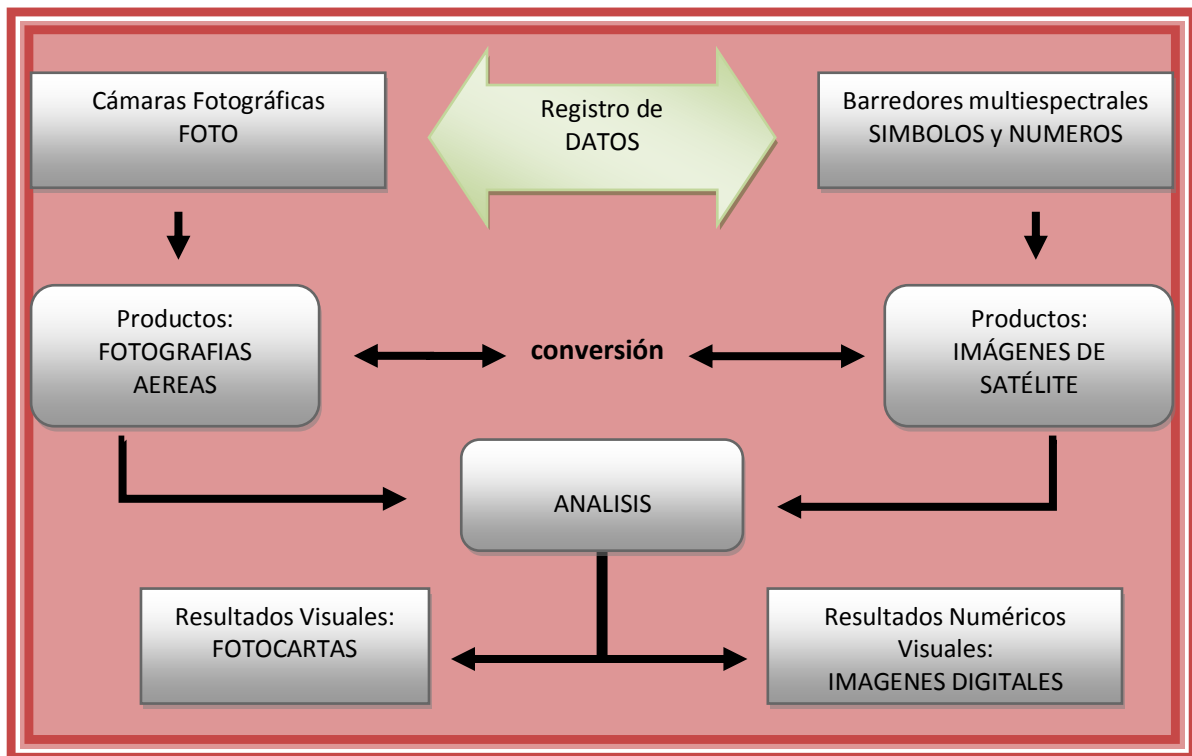


Ilustración 2. El espectro electromagnético y sus relaciones. Fuente:

<https://lacienciaysusdemonios.com/2010/04/13/el-espectro-electromagnetico-i-introduccion/>

La distancia a que debe estar situado un sensor para poder ser llamado “remoto” es sólo una cuestión de criterio, pero en general se la acepta variando desde pocos decímetros hasta varios cientos de kilómetros. De acuerdo con las técnicas actuales, es posible disponer de dos tipos de productos generados a partir de datos captados por un sensor

remoto, los que de por sí definen qué método de interpretación se podrá aplicar: por una parte se puede contar con información “visual” o de imágenes; por la otra, llamada “alfanumérica”, se dispone de información en forma de números o tablas de letras y símbolos.



**Ilustración 3. Los dos tipos de información generada en sensores remotos y el flujo normal de su procesamiento, cualquiera sea la disciplina que la emplea.** Fuente: (LARS, Univ. Purdue, Indiana, USA)

De las dos, la obtención de imágenes es la más antigua ya que existen documentos desde mediados del siglo 19 (los llamados “daguerrotipos”), época a partir de la cual se realizaron importantes avances en las llamadas “fotografías”, acelerados en ocasión de las grandes guerras mundiales. Los sistemas de captación de imágenes más comunes son las cámaras fotográficas, cuyos productos se aplican al análisis denominado “fotointerpretación”, metodología que ha demostrado ser confiable y relativamente económica para todas las numerosas disciplinas que la utilizan, sin que haya llegado aún al final de su desarrollo.

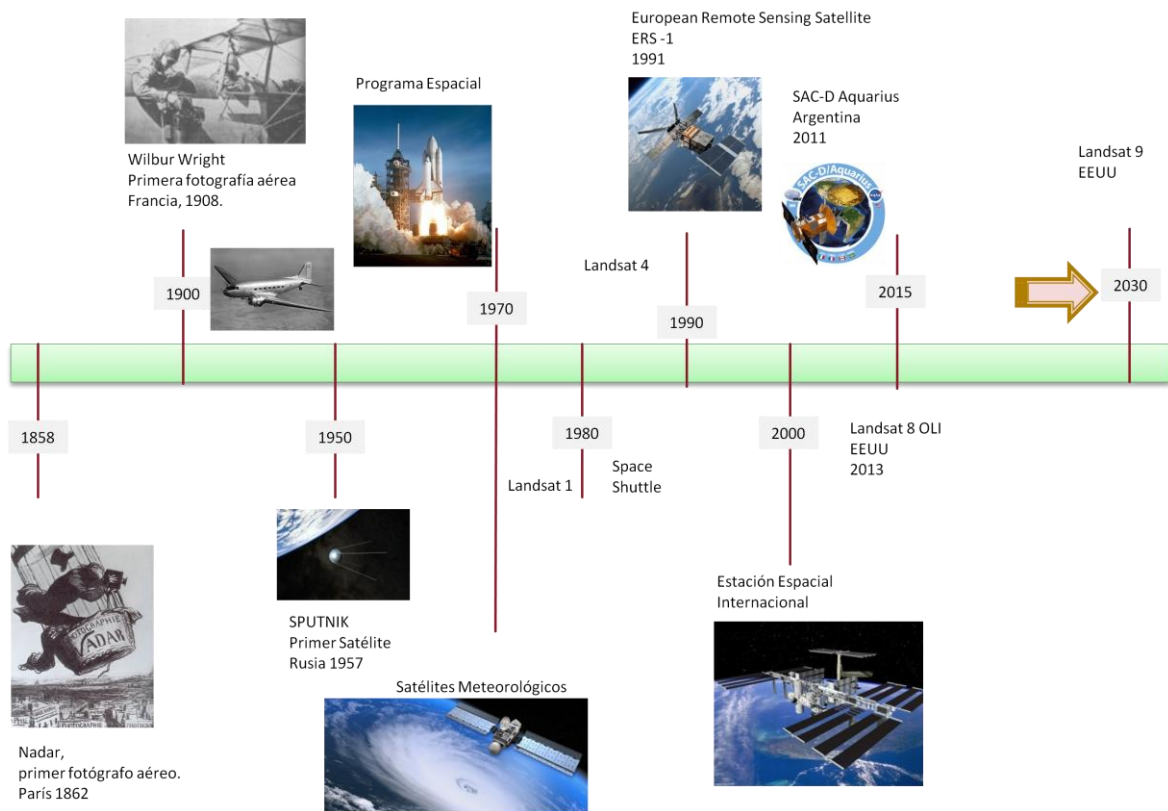
Comparativamente, los métodos de análisis digitalizados ocupan en la actualidad un espacio cada vez mayor, siendo mucho lo que se ha evolucionado en su aprovechamiento pese a que su antigüedad apenas supera cuatro cinco. Su aplicación a distintas disciplinas está estrechamente relacionada con el desarrollo de los programas de computación, cada vez más específicos, más sencillos de usar y de costos en franca disminución ya que la utilización del software libre es la dirección a futuro. Los sensores más comunes que generan datos alfanuméricos son los llamados “barredores multiespectrales” y los sistemas radar, diseños ambos de los que existen varios modelos.

Todo proceso de teledetección (o percepción remota) comprende dos aspectos

- (a) la obtención de datos o información;
- (b) el análisis o interpretación de esos datos.

Para cumplir la primer tarea se dispone de varios tipos de sensores, según sea la porción del espectro electromagnético en que operen: radiómetros, cámaras de TV, radar, rayos X, cámaras fotográficas, scintillómetros, etc. En este trabajo nos referiremos exclusivamente a los barredores multiespectrales, a los sistemas radar y a las fotografías pancromáticas.

En cuanto al transporte de estos sistemas, se ha evolucionado desde los simples aerostatos de 1860 (M. Tournachon, apodado Nadal, tomó sobre Paris las primeras imágenes aéreas de la historia) a los aviones de gran altura tipo U 2 ó RB 57, hasta los satélites que orbitan entre 400 y 1500 Km. de altitud, automáticos y a veces manuales (trasbordador).



Esp. Lic. María Valentina Soria. IIM – Lab. de Teledetección y SIG

Ilustración 4. Evolución de los sistemas aerotransportados. Fuente: Elaboración propia.

## TIPOS DE SATELITE SEGÚN SU ORBITA Y COBERTURA

Tanto los sensores como las plataformas que los transportan, satelitales en este caso, presentan una serie de características que los distinguen y que influyen decididamente sobre las aplicaciones de las imágenes que son capaces de generar.

Los satélites de observación de la tierra se dividen en dos grandes grupos: satélites de órbita geoestacionaria y satélites de orbitas polares. Por sus especificaciones técnicas, cada tipo de satélite permite la obtención de información de distinto tipo.



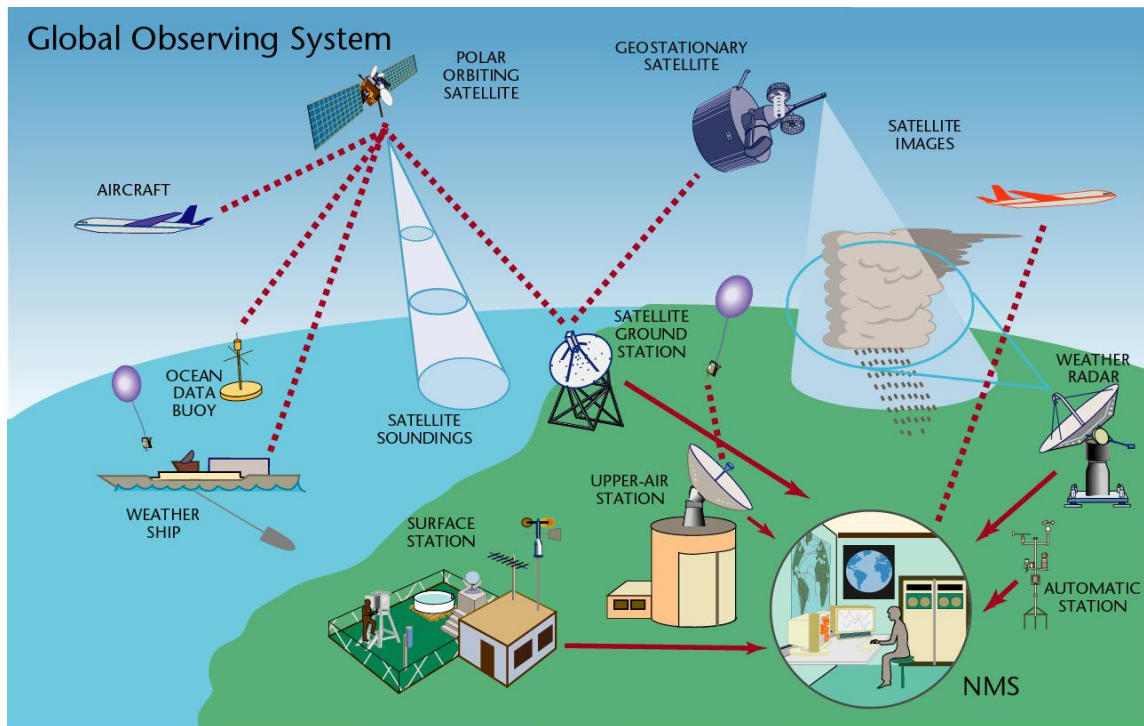
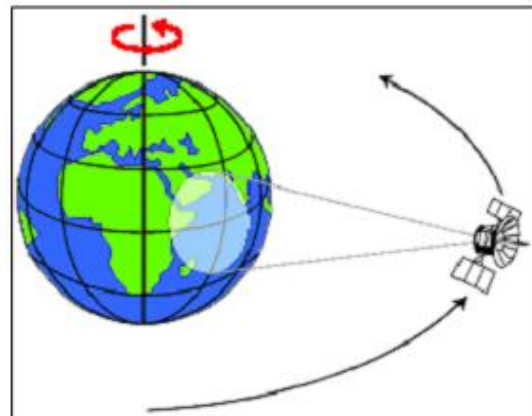


Ilustración 5. Sistemas de Observación Global.

Fuente: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/images/GOS-fullsize.jpg>

Los **satélites de órbita geoestacionaria** corresponden a aquellos satélites ubicados en una órbita sobre la cual acompaña el movimiento de rotación de la tierra, es decir que tienen un periodo de rotación orbital igual que el de la tierra.

Por lo general son satélites registran información climática, lo que permiten reconocer la secuencia direccional de un huracán, el movimiento de las masas de aire, entre otros fines.



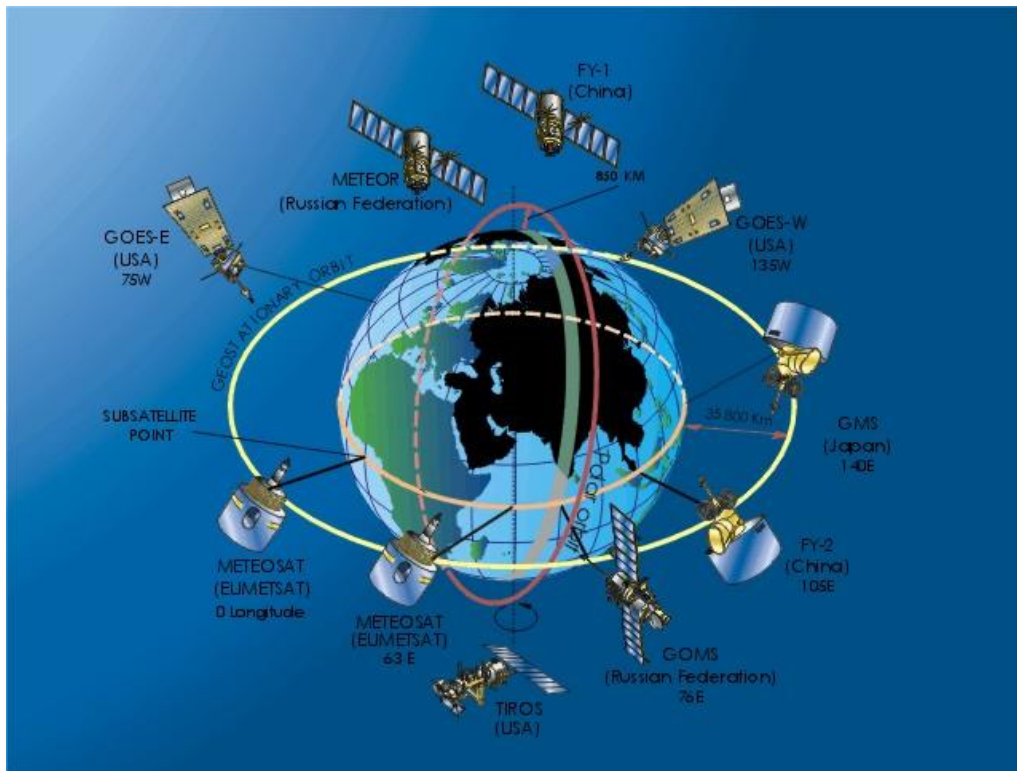
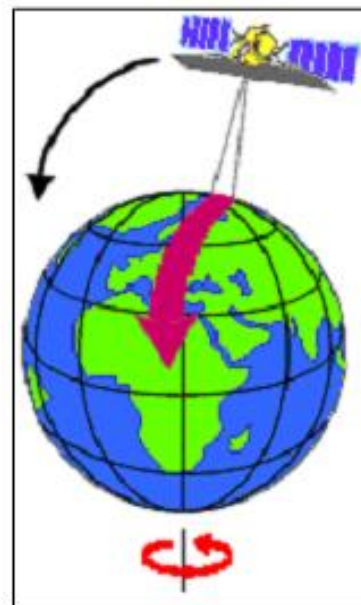


Ilustración 6. Sistemas geoestacionarios. Fuente: [http://mariolmorales.mex.tl/982624\\_S--de-C--Satelites.html](http://mariolmorales.mex.tl/982624_S--de-C--Satelites.html)

Los **satélites de órbita polar**: Todos los satélites civiles de teledetección circundan el globo en órbitas casi polares, moviéndose en sentido ligeramente noreste – suroeste en órbitas descendentes que los llevan directamente sobre los polos en cada órbita. Las pasadas sobre cada punto de la superficie terrestre se realizan a velocidades y altitudes constantes, con una periodicidad que garantiza la obtención de datos sistemáticos.



Una de las misiones satelitales, con satélites de órbita polar más importantes por su registro histórico y su popularidad corresponde a la serie Landsat. Los primeros satélites de esta familia (1, 2, 3 y 4) trasportaban un sensor denominado MSS (Multispectral Scanner) con una la posibilidad de captar cuatro bandas del espectro. Posteriormente el Landsat 5 perfeccionó su sensor, el TM (Thematic Mapper) obteniendo resultados superiores en cuanto a la cantidad de bandas del espectro que pude captar. La aparición del Landsat 7, mejoró el anterior con una banda pancromática. Actualmente el Landsat 8, posee el sensor LDCM, (Landsat Data Continuity Mission), y tubo fecha de lanzamiento el 11 de febrero de 2013.

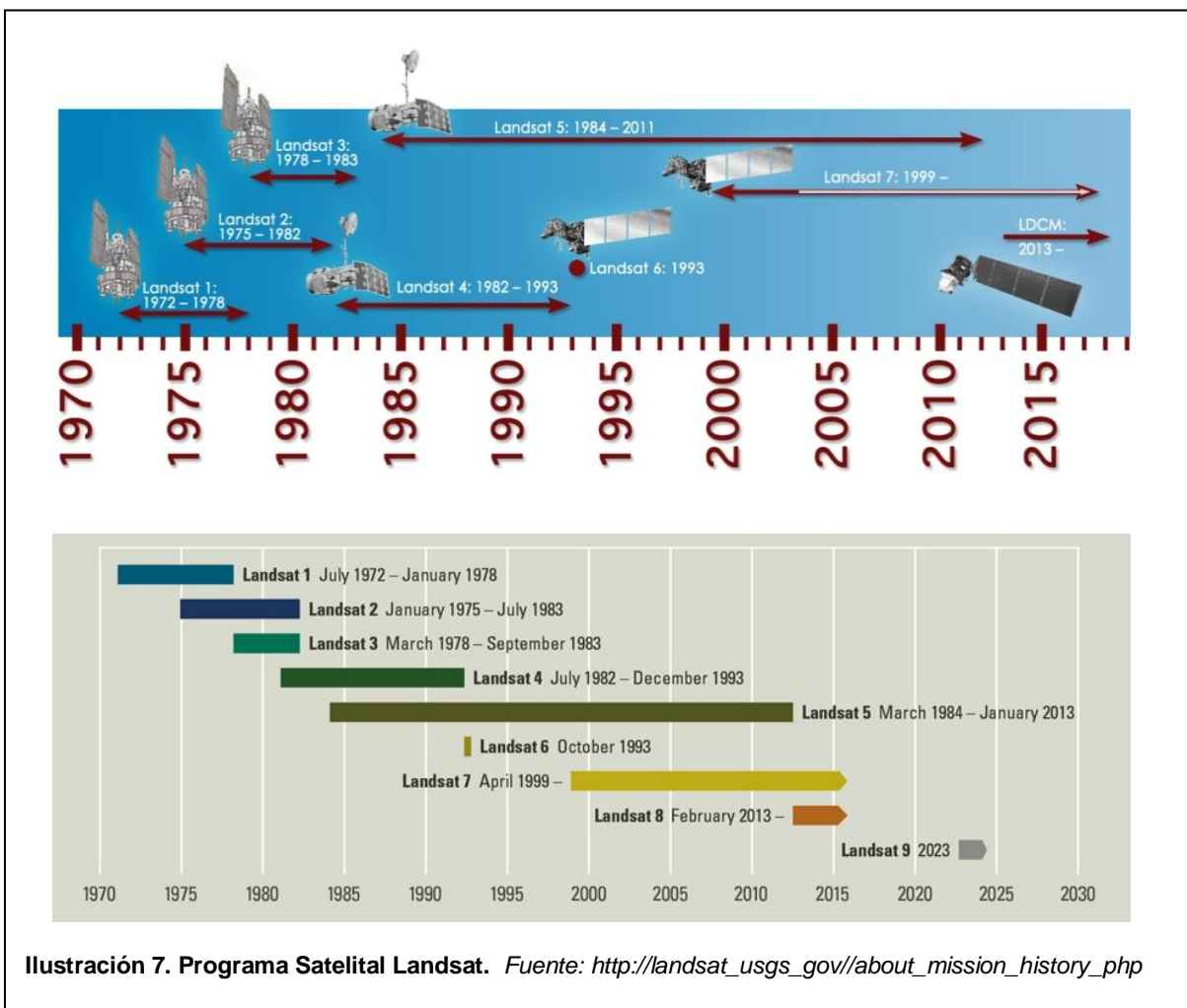
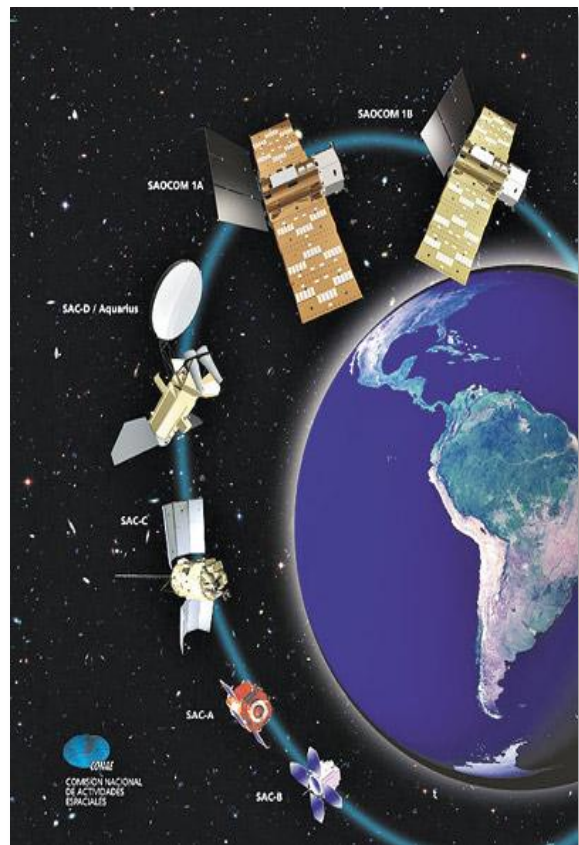


Ilustración 7. Programa Satelital Landsat. Fuente: [http://landsat.usgs.gov/about\\_mission\\_history\\_php](http://landsat.usgs.gov/about_mission_history_php)

Para el caso de Argentina, el organismo oficial, encargado de la planificación, regulación y aprovechamiento de la tecnología espacial es la COANE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales - <http://www.conae.gov.ar>). Esta entidad viene desarrollando tareas en el ámbito espacial desde el año 1991, año en que fue creada, aunque con anterioridad la Argentina inicia actividades en el campo espacial en 1961 cuando se crea la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE).

El último satélite puesto en órbita por Argentina corresponde a la misión SAC-D / Aquarius, el cual se encuadra en un programa de cooperación entre la CONAE y el Centro Goddard y el Jet Propulsion Laboratory (JPL), ambos de la NASA. Su objetivo científico está orientado a obtener nueva información climática a partir de las mediciones de salinidad y una nueva visión de la circulación y procesos de mezcla en el océano, y así como detectar focos de alta temperatura en la superficie terrestre para la obtención de mapas de riesgo de incendios y humedad del suelo para dar alertas tempranas de inundaciones.



**Ilustración 8. Programa Satelital Argentino SAC.** Fuente: [conae.gov.ar](http://conae.gov.ar)

Fue puesto en órbita por la NASA el 10 de Junio de 2011 con un Delta II 7320 y concluyó su servicio operativo el 08 de Junio de 2015 tras haber cumplido exitosamente su misión prevista para 3 años. Todo el satélite fue diseñado y construido en Argentina, incluido los paneles solares que lo alimentan y los instrumentos de CONAE<sup>1</sup>.

Consultar más información en: <https://www.youtube.com/watch?v=7gzolvkjdh8>

---

<sup>1</sup> [www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar)

Entre los parámetros que deben tomarse en consideración al tratar sobre imágenes satelitarias y sus aplicaciones, se cuentan:

- **Geometría de visión:** Los sensores electro – ópticos y los SAR disponen de una geometría de visión fija o graduable. cuando el sensor opera con un ángulo de visión fija o rígida (llamado también “ángulo de incidencia”) apunta siempre exactamente hacia el mismo punto en la “huella (path) del satélite”. En cambio, uno graduable o controlable gira de lado a lado o de atrás – adelante, captando imágenes dentro y fuera de la huella del satélite. Esta geometría de visión variable es de gran importancia porque define la capacidad del satélite para captar imágenes repetidas como para formar pares estereoscópicos (Cap. I, página 55).
  
- **Estereoscopía:** Tal como en el caso de las coberturas aerofotogramétricas, los satélites con sensores de geometría variable pueden captar pares de imágenes con el “overlapping” adecuado. Estos pares estereoscópicos son imprescindibles cuando se desea confeccionar mapas o modelos digitales con formas del relieve, así como para cualquier otro producto tridimensional que pudiera necesitarse.
  
- **Ancho de la faja:** Tal como lo hacen las cámaras aerofotográficas, los sensores satelizados poseen un campo visual capaz de abarcar una determinada distancia transversal, determinada por la faja que cubre su barrido de lado a lado.  
El ancho de faja corresponde a las dimensiones de la escena y cada sensor posee un ancho de la faja o campo de visión que determinará las dimensiones de la escena captada que luego pasa a una imagen. En realidad el sistema recoge millones de datos sobre reflectancia a lo largo de su trayecto, pero por norma esta faja es dividida en escenas de formato cuadrado, recordando en cierto modo a un aerofotograma. De este modo, si el ancho de la faja barrida es de 180 km cómo en las imágenes Landsat, el tamaño estándar de cada escena o imagen será de 180 x 180 km.  
Es común también “cortar” una escena para trabajar sobre un área de interés más pequeña, o bien puede ser necesario disponer de más de una escena cuando el

operativo cubre regiones muy amplias. En estas ocasiones lo normal es confeccionar un “mosaico” de imágenes en un montaje similar al que se acostumbra con los aerofotogramas. La ventaja de las imágenes sobre los fotogramas es que se puede operar procesándolas con una PC y el programa correspondiente, obteniéndose así documentos mucho más ajustados.

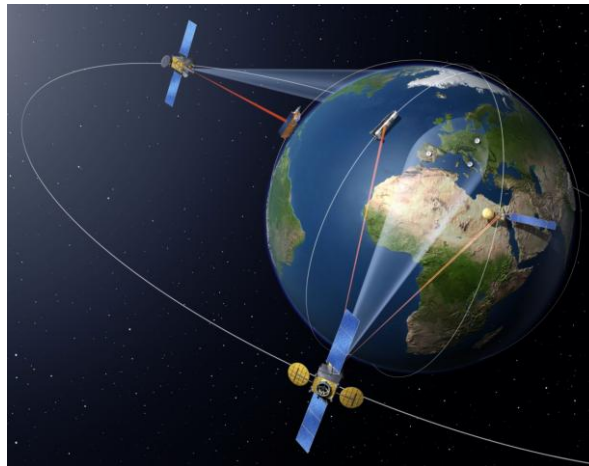
- También en los sensores como en las cámaras de fotos, cuando se utiliza un zoom para “acercar” los objetos se reduce el campo visual en la misma proporción. De este modo, una imagen de satélite con alta resolución espacial (para discernir mayores detalles) abarcará un área del suelo más pequeña. El ancho de la faja cubierta en cada pasada varía entre unos pocos kilómetros en el caso de alta resolución, hasta varios miles en los sensores de baja.
- La cobertura: Los satélites de órbita polar cubren prácticamente toda la superficie terrestre salvo los polos mismos. Esta falencia es cubierta por los sensores de ángulo de visión (geometría) variable.
- Órbita heliosincrónica: La mayoría de los satélites electro – ópticos están sincronizados con el sol de tal forma que sus pasadas sobre un sitio determinado se suceden a la misma hora del día (sobre San Juan los Landsat pasan aproximadamente a las 13 hs). Con ello se asegura que el ángulo respecto al sol y, por consecuencia, las sombras de los objetos y del relieve sean semejantes entre pasada y pasada para cada época del año.
- La mayor parte de las órbitas están sincronizadas con los cruces ecuatoriales de media mañana y así en cada hemisferio las imágenes son captadas ya con el sol formando cierto ángulo, pues las sombras resultan muy importantes cuando se requiere conocer el relieve del sitio estudiado.



## LAS BASES FÍSICAS DE LA TELEDETECCION

La teledetección (o percepción remota) se basa en la existencia de flujos de energía cuyas variaciones pueden ser detectadas y medidas en sus parámetros elementales, de los cuales en este tema nos interesa particularmente el “espectral”.

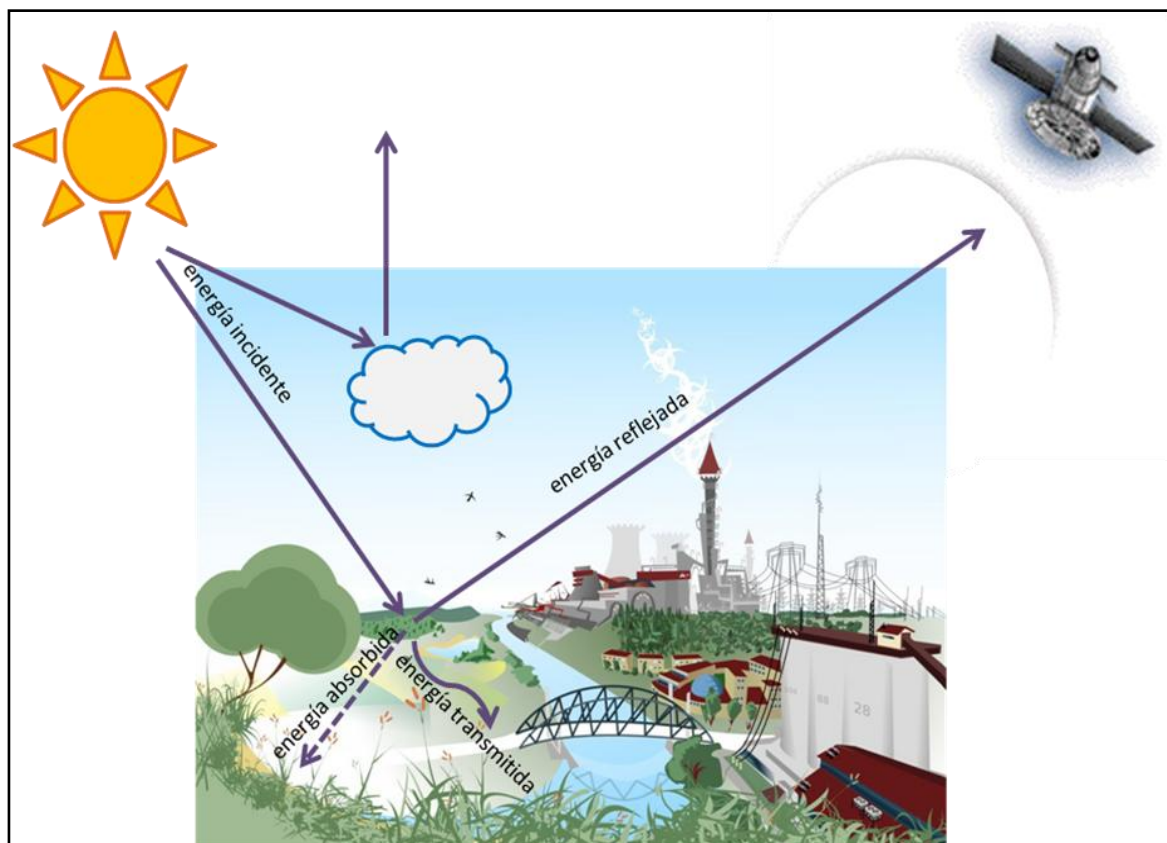
*La **observación de la tierra mediante teledetección** es la interpretación, comprensión de las mediciones de la energía electromagnética, realizadas por satélites o sensores aerotransportados, que es reflejada o emitida por los objetos presentes en los continentes, océanos o superficies heladas o dentro de la atmósfera y el establecimiento de las relaciones entre esas mediciones y la naturaleza y distribución de los fenómenos de la superficie terrestre o de la atmósfera. (Mather, 2004).*



Para definir un proceso de teledetección concurren cuatro componentes esenciales:

- (a) La fuente de Energía, que la mayoría de las veces corresponde al sol (energía electromagnética), pero que pueden presentarse de otras maneras.
- (b) El medio a través del cual se propaga la EEM, como es el caso de la atmósfera. Este medio permite diferentes procesos de absorción, reflexión de la energía.

- (c) Las diferentes coberturas de la superficie que son necesario reconocer para conocer su comportamiento ya que cada tipo de objeto y cobertura sobre la superficie terrestre interactúa de diferente manera con la EEM.
- (d) El sistema o instrumento (sistema sensor) de detección y medición de las variaciones provocadas por la presencia de cada objeto ante la presencia de la EEM.



**Ilustración 9. Elementos de un sistema de teledetección.** Fuente: *Elaboración propia*

Las características técnicas del sensor influye en la calidad de los datos y en la posibilidad de recibir información en distintas longitudes de onda. Para reconocer la función que cada uno de estos elementos tiene en el proceso de la teledetección, se hará una breve referencia a su rol e importancia.

### **(a) La fuente de energía**

Si volvemos a los textos de Física, veremos que la energía originada en una fuente de irradiación electromagnética está caracterizada por vibrar y transmitirse en forma de



ondas cuyas distintas longitudes (o sus frecuencias) definen un espectro electromagnético. La longitud de onda es usualmente identificada con la letra griega lambda ( $\lambda$ ) y puede medirse en angström ( $\text{Å}$ ), en micrones ( $\mu$ ), en nanómetros (nm), en centímetros (cm), en metros (m) o en kilómetros (km) según la equivalencia siguiente:

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-7} \text{ mm} = 10^{-4} \mu$$
$$1 \text{ nm} = 10 \text{ Å} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-3} \mu$$

Ecuación 1. Equivalencia entre unidades de medida de la energía electromagnética.

La longitud de onda es la inversa de la frecuencia medida en ciclos por segundo (cps), pero en sensores remotos y teledetección se acostumbra hablar siempre de longitudes de onda. En la Figura 4 aparece un diagrama del espectro EM en el cual se detalla el comportamiento de las ondas desde algunas centésimas de angström (sector de los rayos gamma) hasta varios kilómetros (energía eléctrica corriente), equivalente esta última a 1 cps.

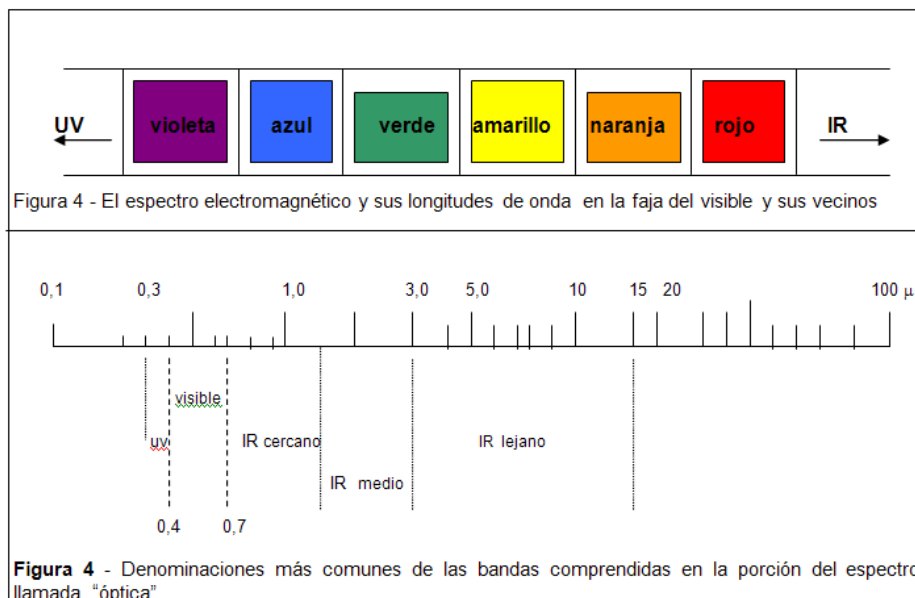


Ilustración 10. El espectro electromagnético y sus longitudes de onda. Fuente: Elaboración propia.

Hay una faja del espectro EM que interesa muy especialmente, llamada “espectro visible, donde se ubican las ondas captadas naturalmente por el ojo humano. De este modo, el diagrama puede ser subdividido en tres sectores (Figuras 4).

- A la izquierda de la banda o faja del “visible” (ondas más cortas) se encuentra el ultravioleta (UV), los rayos X, los rayos alfa y en el extremo los gamma y cósmicos ;
- En el centro el espectro visible, que varía desde el violeta (o azul índigo) en su longitud más corta, hasta el rojo, en la más larga ;
- A la derecha del “visible” se encuentran las bandas del infra-rojo (IR), el radar, la TV y los radiómetros.
- El IR suele ser diferenciado en cercano (0,7 a 1,2  $\mu$  ), medio (1,25 a 3,00  $\mu$  ) y lejano (3,0 a 15  $\mu$  ). Otra clasificación muy común separa el IR en reflectivo (0,7 a 3,0  $\mu$  ) y emisivo o térmico (3,0 a 15,0  $\mu$  ).

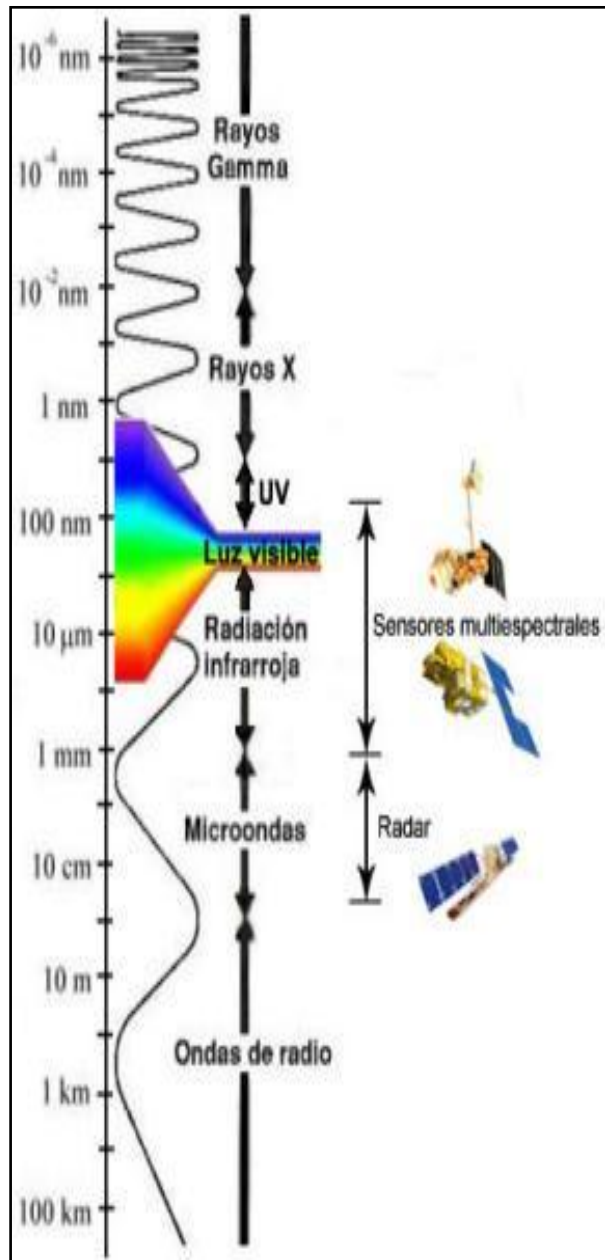


Ilustración 11. El espectro electromagnético y los sensores.

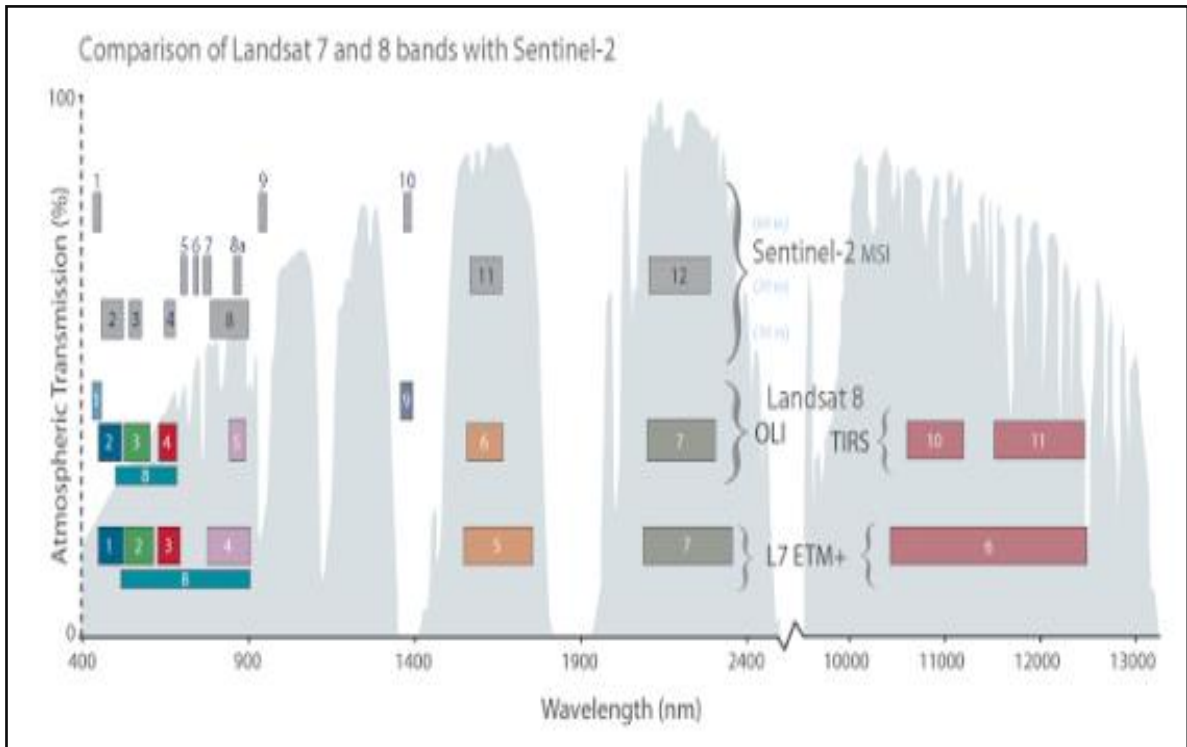
**(b) Los efectos atmosféricos**

La atmósfera, como medio gaseoso de transmisión de la EEM, posee un rol importante en los procesos de teledetección, ya que la misma no se comporta como un cuerpo transparente, sino que influye directamente en la cantidad e intensidad, frecuencia y distribución de la energía espectral que recibe directamente el sensor. Entre las modificaciones que sufre la energía electromagnética, Chuvieco (2002) destaca las siguientes:

- El fenómeno de dispersión atmosférica ("scattering") aparece a causa de la difusión en una o varias direcciones de la energía a causa de las partículas en suspensión y las moléculas de los componentes de la atmósfera. En general, este efecto de dispersión decrece a medida que aumenta la longitud de onda.
- La absorción atmosférica está relacionada con la retención de energía por parte de los diferentes componentes de la atmósfera, sobre todo del vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). Este efecto es muy selectivo, limitándose a determinadas longitudes de onda dentro del espectro electromagnético (las inferiores a 0,3  $\mu$ m por el ozono, por ejemplo).
- Aquellas regiones donde estos procesos son débiles y por lo tanto se produce una buena Transmisión de energía, facilitando que la misma pueda ser recibida posteriormente por el sensor, reciben el nombre de "ventanas atmosféricas". Estas zonas de la atmósfera se centran especialmente en el ultravioleta, el visible y el infrarrojo reflejado y térmico, además de las longitudes de onda superiores a 1 mm., donde la transmisión atmosférica es total, siendo esta una de las principales razones de su frecuente uso en teledetección en ondas radar.

El gráfico siguiente muestra las áreas con gran transmisión de energía en la atmósfera, estas áreas se denominan ventanas atmosféricas. Cada sensor tiene la capacidad de recibir la energía que logra traspasar la atmósfera en diferentes longitudes

de onda, tal como lo muestra el gráfico en una comparación entre el satélite Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI y Sentinel-2 MSI.



**Ilustración 12. Comparación de las ventanas atmosféricas (bandas) entre Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI y Sentinel-2 MSI.** Fuente: <http://sistemasdeinformaciongeografica911.blogspot.com.ar/2015/06/sentinel-2a-imagenes-georeferenciadas.html>

### (b) El comportamiento de las coberturas de la tierra

Mediante un sistema de teledetección es posible registrar tres tipos de variaciones en los objetos: espectrales, espaciales y temporales.

Todo objeto de la superficie terrestre refleja o emite EEM según una función que depende de su longitud de onda; de este modo, cada material u objeto tiene un comportamiento espectral que le es característico, llamado firma espectral (Figura 6). Si se dispone de un sensor capaz de captar y medir la energía procedente de los objetos, cada uno de ellos aparecerá en la pantalla o imagen con su firma específica, de un valor  $X_i$  sólo suyo, para cada longitud de onda registrada por el sensor. De este modo se puede

contar con datos espectrales numéricos que irán trazando una curva en función de la longitud de onda, la que será particular de cada material de la superficie.

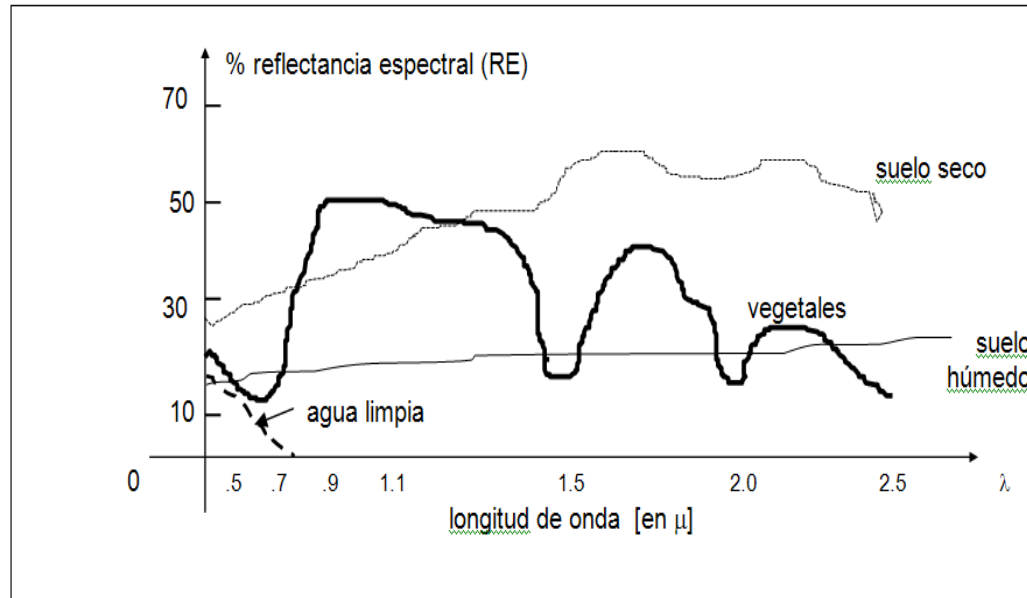


Ilustración 13. “Firma” espectral de algunos materiales comunes de la corteza. Para cada longitud de onda ( $\lambda_i$ ) se tiene un valor específico de reflectancia espectral ( $\rho_i$ ). Fuente: Elaboración propia.

### Guía para elegir las bandas espectrales adecuadas

De acuerdo con lo ya visto, los niveles de reflectancia espectral en cada banda registrada por el sensor aportan datos de fundamental importancia para la interpretación de una imagen. El cuadro siguiente facilita la selección de las bandas (longitudes de onda) de acuerdo a las aplicaciones más comunes.

Estas bandas fueron elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7 que se agregó para aplicaciones geológicas.

**Banda 1:** (0,45 a 0,52 micrones - azul -) Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.

**Banda 2:** (0,52 a 0,60 micrones - verde -) Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas y, al igual que la banda 1, para detectar la presencia o no de limonita.

**Banda 3:** (0,63 a 0,69 micrones - rojo -) Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas y para detectar limonita.

**Banda 4:** (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano -) Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.

**Banda 5:** (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio -) Indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.

**Banda 6:** (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal -) El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.

**Banda 7:** (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio -) Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

Estas siete bandas pueden combinarse de a tres o más, produciendo una gama de imágenes de color compuesto que incrementan notablemente sus aplicaciones, especialmente en el campo de los recursos naturales.

(c) Los sensores

Una clasificación muy común entre los sistemas de detección remota es la basada en su forma de actuar dentro del campo de la EEM: se llaman sensores pasivos aquellos que miden las variaciones de la energía procedente de los objetos sin intervenir en el campo natural; a su vez, se denominan sensores activos aquellos que generan un campo de energía artificial, registrando y midiendo el efecto que en él producen los objetos.



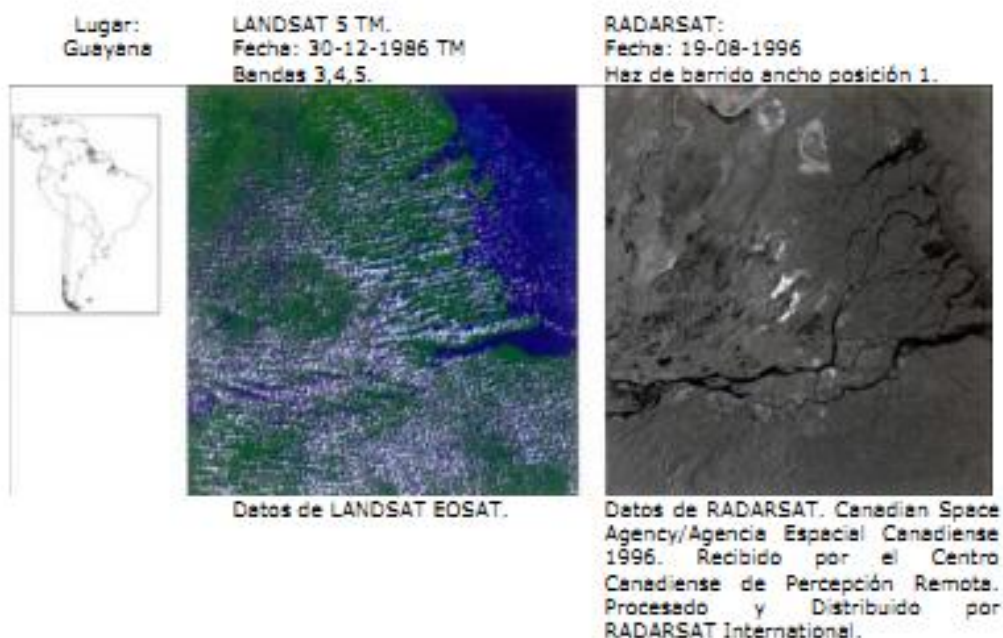
<p style="text-align: center;"><b>SENSORES ACTIVOS</b></p>  <p style="text-align: center;">Emiten su propia energía (RADAR)</p>	<p style="text-align: center;"><b>SENSORES PASIVOS</b></p>  <p style="text-align: center;">Captan las radiaciones emitidas por los objetos a partir de la energía solar.</p>
<p><b>Sensores Activos:</b> Estos sensores que pueden emitir y recibir su propia energía, por lo tanto no necesitan de un foco de energía externo para trabajar. Esto les permite emitir y recibir información en horas nocturnas, es decir ante la ausencia del sol.</p> <p>Como su frecuencia de energía corresponde a las ondas radar (longitud de ondas largas), pueden trabajar con presencia de nubes, las cuales no presentan interferencias.</p> <p>Estas características hacen que sea un sensor muy utilizado en actividades estratégicas, en vuelos de reconocimiento y planificación de guerra.</p>	<p><b>Sensores Pasivos:</b> Estos sensores requieren de un foco de energía externo, por lo tanto necesitan del sol para trabajar. Esto no les permite trabajar en horas nocturnas, por el contrario, la hora preferible para captar la información es al medio día (12 hs), de esta manera se evita la presencia de sombras.</p> <p>Como su frecuencia de energía corresponde al visible e infrarrojo (longitud de onda corta), la presencia de nubes presenta una interferencia en la recepción de la información.</p> <p>Este tipo de sensor es muy utilizado en la evaluación e inventario de recursos naturales y en planificación urbana en general.</p>

Ilustración 14. La energía en los sensores activos y pasivos.

Las imágenes de satélite que muestran la imagen de la Guyana, permiten ver las diferencias entre dos imágenes obtenidas por sensores diferentes, sobre una misma región. En la imagen RADARSAT pueden distinguirse claramente las estructuras geológicas ya que las nubes, propias de estas regiones, no generan interferencia para este tipo de sensor. En el caso de la imagen multiespectral LANDSAT, las nubes que se presentan en color blanco impide realizar una buena interpretación de la zona. Sin embargo la combinación de colores permite diferenciar claramente el agua de la zona con vegetación.



**Ilustración 15. Comparación entre imágenes espectrales y radar.**

Por su importancia en los estudios referidos a la etapa de Exploración Minera, se pondrá especial interés en los sensores pasivos, sus productos y características. Los dos productos más utilizados para la identificación de anomalías en planificación urbana corresponden a las fotografías aéreas e imágenes de satélites.



## LAS FOTOGRAFÍAS AEREAS

La **fotografía aérea** es un caso particular de la teledetección en la que se utilizan plataformas a baja altura (aviones en lugar de satélites) con lo que la escala es mayor. Tradicionalmente se caracterizaba también por la utilización del papel como soporte y de las longitudes de onda del visible o infrarrojo. Sin embargo en los últimos años el desarrollo de las cámaras digitales a permitido la aparición de fotografía aérea digital y el uso de diversas bandas del espectro.



**Ilustración 16. Fotografías aéreas de zonas mineras.**

Fuente: <http://www.carloschoque.cl/v2/gallery/fotos-aereas-mineria/page/3/>

Este tema se va a centrar en la utilización de fotografía aérea vertical tradicional en papel ya que las técnicas de manejo de fotografía digital son muy similares a las de imágenes de satélite, y a la conveniencia de aprender su manejo en estudios de evolución del paisaje.

A pesar de que podamos considerar a la fotointerpretación como un caso particular de la teledetección, existe una diferencia fundamental entre ambas técnicas. En teledetección se utiliza un dispositivo de barrido, mientras que en fotointerpretación se utiliza una cámara fotográfica con tecnología óptica. El resultado son distintos tipos de proyecciones.

Las películas utilizadas pueden ser en blanco y negro o en color. Una imagen en blanco y negro registra la reflectividad del objeto fotografiado en una determinada región del espectro electromagnético. Esta puede ser la banda del visible (pancromáticas) o incluir el infrarrojo. Las imágenes en color obtienen la reflectividad en diversas regiones del espectro y, posteriormente las combinan en una sola imagen asignando a cada banda un color, pueden obtenerse también solo para el visible o incluir infrarrojo. Estas posibilidades son las más utilizadas en fotografía aérea, sin embargo existen muchas otras posibilidades.

La selección de la banda del espectro que se desea fotografiar se hace colocando un filtro delante del objetivo para que sólo deje pasar aquella parte del espectro que nos interesa. Los filtros también pueden utilizarse para resaltar unos colores sobre otros o para atenuar los efectos de la atmósfera en fotografía aérea de gran altura.

#### ❖ **Los fotogramas aéreos:**

Una fotografía aérea se toma con una proyección cónica con deformaciones angulares, si corregimos estas deformaciones obtenemos un ortofotomapa ya que el proceso de corrección consiste en el paso a una proyección ortogonal. Las deformaciones son máximas hacia los bordes de la fotografía.

En un fotograma aéreo además de la fotografía propiamente dicha aparecen una serie de elementos que facilitan la interpretación y la corrección.

- En primer lugar aparecen cuatro marcas en las esquinas de la foto llamadas marcas fiduciales, si trazamos dos líneas diagonales pasando cada una por dos de estas marcas, estas se cruzarán en el centro de la foto que debe coincidir con el nadir

(punto de la superficie terrestre perpendicular al plano focal). Esto sólo es así si el avión volaba sin inclinación, en este último caso el punto central de la foto se desvía respecto al nadir. Por ello en el fotograma aparece una pequeña fotografía del nivel del avión, si la burbuja esta razonablemente en el centro podemos contar con que no se han introducido distorsiones.

- El reloj nos informa de la hora y el altímetro de la altura a la que se tomo la foto. Suele aparecer además información acerca del organismo que ha obtenido la foto, fecha, escala, posición y diversa información administrativa.
- Puesto que la altura focal es constante, y deben suministrarnosla junto a la fotografía aérea, podemos recalcular la escala dividiendo la altura de vuelo (que puede variar de un fotograma a otro) menos la altura del terreno entre la distancia focal. Para calcular la escala en una fotografía aérea se utiliza la siguiente fórmula:

$$E=1/D=f/(H-h)$$

$E$  = escala,  
 $D$  = denominador de la escala,  
 $F$  = distancia focal de la cámara en [mm], [cm], [m],  
 $(H-h)$  = altitud de vuelo respecto a la superficie del terreno en [mm], [cm], [m].

#### **Ecuación 2. Ecuación de la escala**

Evidentemente la escala no va a ser constante, no sólo entre fotografías de un vuelo sino tampoco dentro de la misma fotografía, sino que va a depender de la altitud de cada punto. Si en el area fotografiada existen diferencias de altitud importantes, en necesario tener en cuenta su efecto sobre la escala.

Ejemplo: si la altura de vuelo son 5000 m. y la distancia focal 125 mm la escala de la fotografía resultante será 1:40000.

❖ **Series de fotogramas.**

Normalmente los fotogramas que se manejan en cualquier trabajo relacionado con la gestión del territorio no se toman aislados sino que son series que cubren un espacio bastante amplio. Una serie de fotogramas es el conjunto de fotos que cubren dicho espacio y que normalmente tienen ciertas condiciones

- Un solapamiento longitudinal de un 50 o 60% (en dirección de la línea de vuelo), que permite la visión estereoscópica; y un solapamiento latitudinal o recubrimiento transversal en cada línea de vuelo que debe ser de 20-30% para asegurar que no quede espacio por cubrir.
- A la hora de planificar un vuelo se tiene en cuenta que si el sol está excesivamente alto se pueden producir reflejos, mientras que si está muy bajo pueden producirse sombras excesivas; sin embargo algunas aplicaciones pueden beneficiarse de la presencia de sombras.
- También hay que tener en cuenta el propósito del vuelo. Si se quiere cartografiar formaciones vegetales es preferible evitar sombras y buscar una época en la que las diferentes formaciones puedan distinguirse mejor. Por el contrario aplicaciones de tipo geológico-geomorfológico se benefician de la presencia de sombras y de la ausencia de hojas en los árboles
- La época más adecuada para realizar un vuelo es primavera y otoño y la mejor hora el mediodía. Con ello se minimizan las sombras y los efectos de reflexión del sol en superficies de agua.

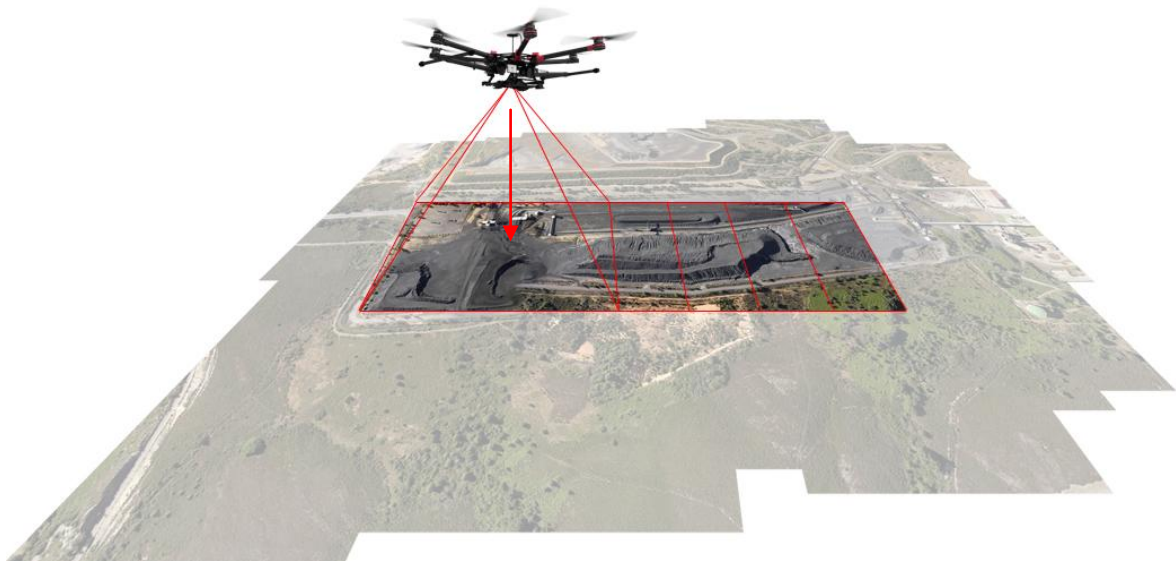


Ilustración 17. El fotograma, su solapamiento, dirección de vuelo y ángulo de toma. Fuente: <http://www.geodronex.com/fotogrametria-uav.html>

#### ❖ Paralaje y visión estereoscópica

Cada uno de nuestros ojos actúan como una cámara que capta una imagen. Cada uno de los ojos adquiere una imagen ligeramente diferente y desplazada debido a los aproximadamente 64 mm de separación entre ellos.

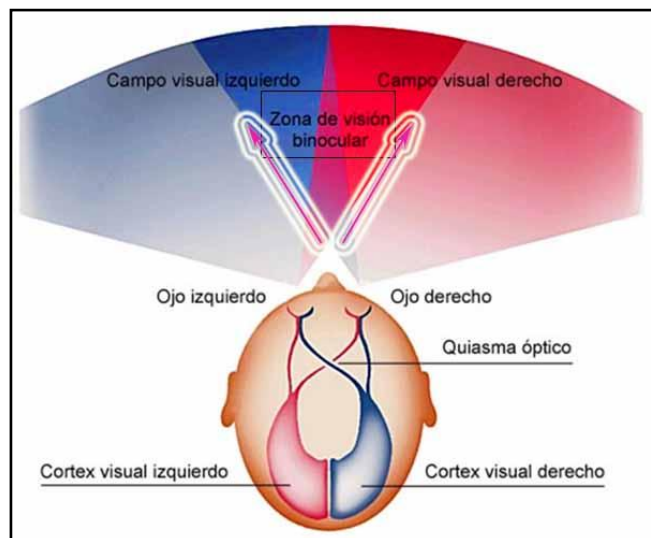


Ilustración 18. Como se genera la visión estereoscópica. Fuente: <http://oftalmo2012.blogspot.com.ar/2012/07/vision-binocular.html>

El resultado es que los objetos aparecen ligeramente desplazados sobre el fondo, este desplazamiento es transformado por el cerebro en una representación tridimensional ya que el desplazamiento será tanto mayor cuanto más alejado este el objeto del fondo.

Si tenemos dos fotogramas consecutivos con, por ejemplo, un 60% de superposición; tenemos un área común a ambas fotografías en las que los objetos aparecen ligeramente desplazados respecto al fondo. Este desplazamiento será proporcional a la altura relativa del objeto respecto al fondo. Si miramos ambos fotogramas a la distancia adecuada nuestro cerebro podrá reconstruir una imagen tridimensional. Sin embargo esto resulta difícil y se facilita mediante el uso de estereoscopios.

Obtención de la línea de vuelo. En primer lugar se identifican los puntos principales de cada fotograma, a continuación se busca la ubicación de cada uno de ellos en el otro fotograma. De esta forma se obtienen cuatro puntos que forman la línea de vuelo que permite orientar el par de fotogramas correctamente.

Al observar un objeto con ambos ojos se registran dos imágenes distintas del objeto. El cerebro une estas imágenes formando una percepción tridimensional del objeto o un modelo estereoscópico.

#### ❖ **Efectos de dispersión en las fotos aéreas**

La luz dispersada por la atmósfera no contiene información acerca del terreno. Además esta luz reduce la relación de contraste de la escena y en consecuencia la resolución espacial y la capacidad de detección de la fotografía. Por medio del filtrado de las longitudes de ondas más cortas selectivamente dispersadas, antes de alcanzar la película fotográfica se reduce y también los efectos de la dispersión atmosférica.

#### ❖ **Equipo**

Los instrumentos que permiten la visión estereoscópica son: Lentes anaglíficas, Estereoscopio de lentes, Estereoscopio de espejos.

- **Lentes anaglíficas**

Son imágenes impresas una sobre la otra, con un desplazamiento pequeño entre sí, cada una impresa en un color diferente (rojo y azul). Esta llamativa imagen se observa con las lentes anaglíficas, constituidas por un filtro rojo correspondiente al ojo izquierdo y un filtro azul-verde correspondiente al ojo derecho. De tal modo se

filtra la impresión en color rojo para el ojo izquierdo (captando la impresión en color azul-verde) y la impresión en color azul-verde para el ojo derecho (que capta la impresión en color rojo). Las dos impresiones filtradas se complementan formando una impresión en blanco-negro. Por consiguiente los ojos reciben dos imágenes en blanco-negro desplazadas entre sí, que son unidas por el cerebro en un modelo tridimensional.

- Estereoscopio de lentes

En el estereoscopio de lentes, las lentes se encargan de acomodar los ojos para la observación de un objeto cercano. El estereoscopio de lentes de bolsillo se compone de dos lentes de aumento 2 o 3 veces puestas en un arco que está conectado con un soporte abatible de dos pies, con la distancia visual normal de 6,5 cm. El estereoscopio se coloca encima de un par de fotos aéreas alineadas, separadas a cierta distancia entre sí. Debido a que la distancia (6,5 cm) entre las dos lentes es fija solamente se pueden observar encuadres tridimensionalmente de este mismo ancho (Fig.).

- Estereoscopio de espejos

El estereoscopio de espejos, es un sistema de dos lentes, consta de dos prismas reflectores y de dos espejos relativamente grandes (véase fig. siguiente). Las lentes están alineadas en una distancia de 6,5 cm entre sí a lo largo de un arco, cuyo soporte lleva los dos espejos y los dos prismas reflectores están alineados a lo largo del eje óptico debajo de las lentes. Los espejos y los prismas están alineados en diagonal en la dirección visual formando un ángulo de 45° entre sí. De tal modo se obtiene la proyección de dos fotos aéreas, cuyo ancho es mayor que la distancia entre las lentes o entre los ojos del observador (mayor de 6,5 cm). Las lentes del estereoscopio son planoconvexas y corrigen la distancia de imagen mayor de 6,5 cm obtenida por el desvío, que sufren los rayos de luz siendo reflejados por los espejos y pasando por los prismas. Además el estereoscopio de espejos está equipado con lupas binoculares, normalmente con aumento de 6 a 8 veces.

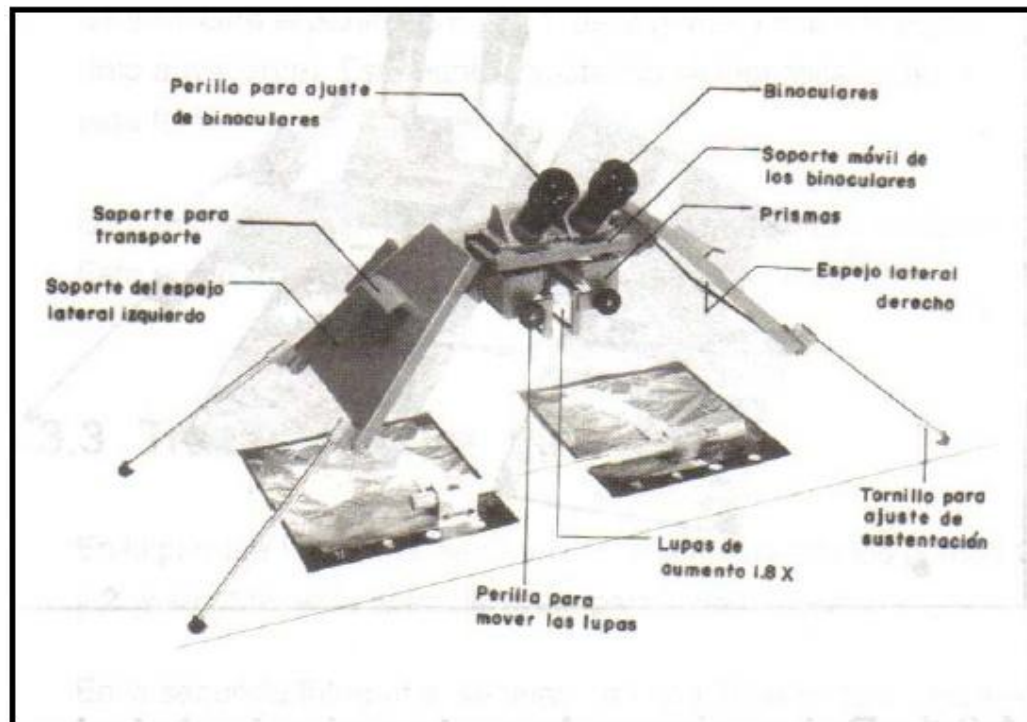


Ilustración 19. Estereoscopio de espejos.

#### ❖ Tipos de fotos aéreas

- Fotos aéreas verticales - El eje óptico de la cámara esta en posición vertical respecto a la superficie de la tierra.
- Fotos aéreas oblicuas bajas - El eje óptico de la cámara forma un ángulo de  $15^\circ$  a  $30^\circ$  con la vertical respecto a la superficie de la tierra.
- Fotos aéreas oblicuas altas - El eje óptico de la cámara forma un ángulo de  $60^\circ$  o más grande con la vertical respecto a la superficie de la tierra.

Según los objetivos y planificación de la investigación de usarán diferentes tipo de cámaras, lo que permitirá obtener un mayor o menor contenido de información. En la tabla siguiente se hacen referencia a tres tipo de cámaras, donde 1 = contenido de información más alto; 2 = contenido de información menos alto; 3 = contenido de información más bajo.



Aspectos de investigación	Contenido de informaciones utilizado:		
	pancromático	en colores	infrarrojo en colores
Penetración por sombra	2	1	3
Acentuación de sombra	2	3	1
Penetración por neblina	2	3	1
Vegetación			
Reconocimiento de especies	3	2	1
Estado de salud	3	2	1
Mapeo	3	2	1
Suelos y rocas			
Topografía	2	1	1
Redes de drenaje	3	2	1
Contenido de humedad	3	2	1
Mapeo de suelos	2	1	2
Suelos perturbados	3	2	1
Zonas de fallas	3	2	1
Identificación de afloramientos	3	2	1
Agua			
Penetración	2	1	3
Contaminación	3	2	1
Nieve y hielo			
Profundidad y/o espesor	2	3	1
Acumulación de agua de deshielo	2	3	1

**Tabla 1. Contenido de información de los varios rollos con respecto a distintos aspectos de investigación.**

#### ❖ Características de fotos aéreas

La **geometría** de la foto aérea se describe por la proyección cónica. Las características de la proyección cónica son las siguientes:

- Los puntos del terreno se proyectan por medio de una línea recta sobre la película. El punto de intersección de estas líneas es el centro de perspectiva y coincide con el centro óptico del objetivo.
- En toma vertical, el punto central de la foto coincide con el nadir del terreno.
- Debido al recubrimiento longitudinal de 60% cada foto vertical contiene su propio punto central y los puntos centrales de las dos fotos vecinas. Marcando los dos puntos centrales de las dos fotos vecinas, en la foto en cuestión y uniendo los tres puntos centrales por una línea se halla la trayectoria del vuelo.

- La aerobase es la línea, que une los nadires del terreno de tres fotos consecutivas. La fotobase se refiere a la línea, que une los centros de fotos vecinas. La aerobase y la fotobase coinciden sólo en fotos perfectamente verticales.

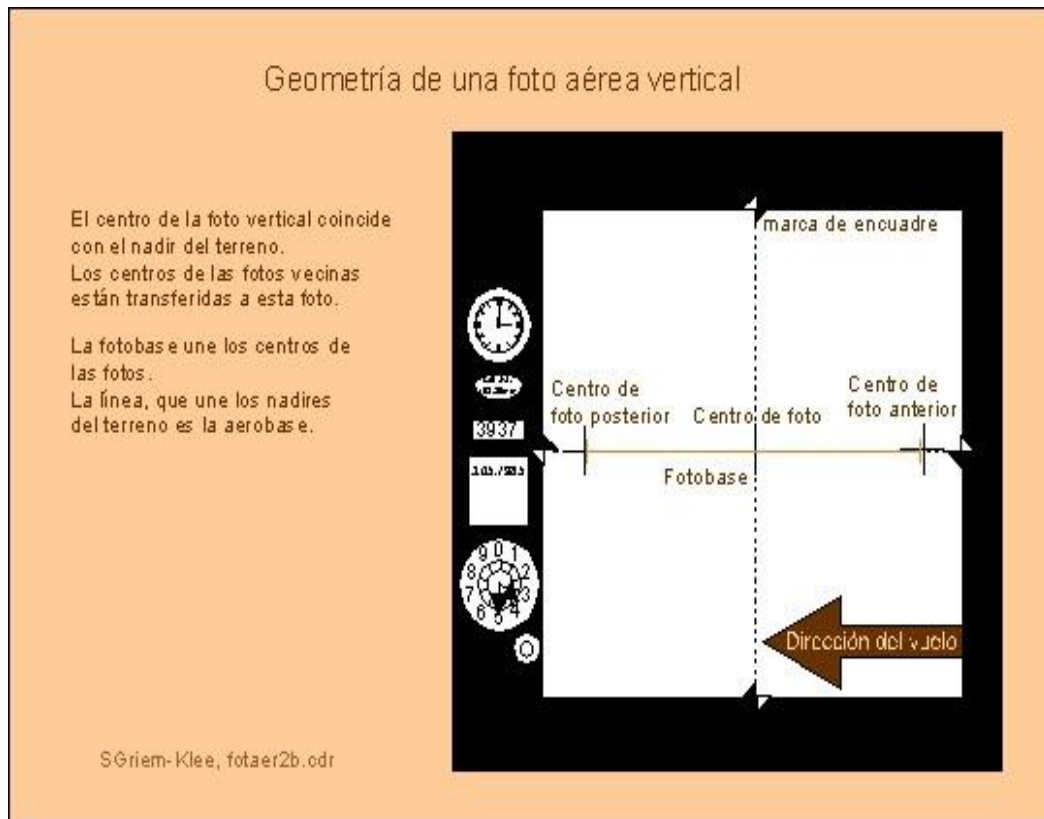


Ilustración 20. Geometría de las fotografías aéreas.

#### ❖ Distorsión radial

En la proyección cónica los rayos que unen los puntos del terreno con los puntos de la foto cruzan puntos superpuestos (uno encima del otro) con ángulos diferentes. En consecuencia en la proyección horizontal de la foto estos puntos están alineados sobre una línea radial, que parte del centro de la foto. Las proyecciones de los puntos objetos de diferentes cotas, ubicados en el mismo lugar como el pie y el tope de un árbol, por ejemplo, son desplazados en direcciones opuestas a lo largo de líneas radiales. Si los puntos tienen cotas mayores a aquella del nadir, sus proyecciones se desplazan hacia la

periferia de la foto, si los puntos tienen cotas menores a aquella del nadir, sus proyecciones se desplazan hacia el centro de la foto. La dimensión de la distorsión radial depende de las diferencias en la altura de los puntos proyectados. El desplazamiento se aumenta desde el centro hacia la periferia de la foto.

Los efectos de la distorsión radial son los siguientes:

- Líneas verticales como torres superficies inclinadas como paredes de canteras y superficies de fallas verticales parecen inclinadas hacia la periferia de la foto.
- La distancia horizontal entre puntos de distintas cotas es falsa.
- Las relaciones angulares entre puntos de distintas cotas se distorsionan.

#### ❖ **Orientación de las fotografías aéreas bajo el estereoscopio de espejos**

La orientación correcta de un par de fotos aéreas, bajo el estereoscopio de espejos se realiza de la manera siguiente:

- Para la comprobación del paralelismo entre la línea del vuelo y la línea de unión interpupilar se determina el centro del par de fotos aéreas a evaluar, trazando una línea de unión entre las marcas de encuadre superior e inferior y derecha e izquierda. La intersección de ambas líneas es el centro de la foto aérea. Se marca los centros M1 y M2 así obtenidos con una cruz a lápiz con punta fina.
- Se transfiere el centro de la foto 1 (M1) a la foto2 y el centro de la foto2 (M2) a la foto1. Se marca los centros M1' y M2' transferidos con un alfiler o una cruz. La línea de unión entre M1 y M2' y entre M2 y M1' es la línea de unión de los centros, es decir la línea base de la foto y corresponde al recorrido del vuelo.
- Se prolongan la línea de unión entre los dos centros hacia ambos lados hasta el borde exterior de la foto. Se marcan los puntos de intersección de la línea central con los bordes de la foto.
- Se orientan las fotos, de tal manera, que las líneas de base de ambas fotos queden sobre una recta, es decir que los cuatro centros M1, M2, M1' y M2' se encuentren sobre esta línea recta.
- Se ubican los puntos equivalentes de ambas fotos a la distancia correcta entre sí.

- Se orienta el par de fotos aéreas bajo el estereoscopio de espejos de tal manera que las líneas de base de las dos fotos y las líneas de unión entre los centros de las lentes del estereoscopio queden en un plano.

#### ❖ Exageración vertical:

En las imágenes estereoscópicas, el relieve parece exagerado. Cuantitativamente se expresa la exageración vertical por el factor de exageración E:

$$E = a \times B \times d \times s / (f \times A \times E)$$

Ecuación 3. Exageración vertical.

a = factor de proporcionalidad,

B = aerobase,

d = distancia foto - ojo,

s = distancia foto - foto,

f = distancia focal de la cámara,

A = altura de vuelo,

E = distancia entre los ojos del observador.

Nota: Excepto de la aerobase y de la altura del vuelo para un vuelo y un observador todos los demás factores son constantes. Cada observador debe determinar su factor de exageración individual. Generalmente el factor de exageración varía entre 2,5 a 3,5.

#### ❖ Fotointerpretación

Es el proceso por el que se extrae la información contenida en la fotografía aérea. En una primera fase se trata de reconocer y ubicar los diferentes elementos que aparecen representados. Se requieren ciertos conocimientos acerca de los procesos geomorfológicos, formaciones vegetales y usos del suelo del área de trabajo; hace falta además tener en cuenta la escala del fotograma y el tamaño de los objetos representados. Resulta por tanto una técnica instrumental útil en estudios territoriales.

### ❖ **Métodos de fotointerpretación**

El primer paso sería orientar los fotogramas. Puede hacerse a partir de la dirección de las sombras y de la hora indicada en el reloj del fotograma o bien, de forma más exacta, mediante un mapa topográfico de la zona.

Existen diferentes elementos en los fotogramas que pueden utilizarse para la identificación de elementos en las mismas, bien a simple vista o bien con el apoyo de la visión estereoscópica:

- Tamaño de los elementos (teniendo siempre en cuenta la escala del fotograma)
- La forma de los elementos.
- Las sombras, que pueden dar pistas sobre la forma del objeto ocultas en una vista aérea.
- La estructura, distribución de los elementos.
- El tono, que indica la reflectividad en la región del visible. El tono de un objeto depende de la cantidad de luz del espectro visible, que el objeto refleja. Tonos grises pueden ser claros, oscuros, negruzcos y otros términos similares.
- Textura, distribución de colores en una fotografía. Se refiere a las variaciones en la intensidad del tono de gris o es decir a las variaciones de tonos claros y oscuros de gris, que solamente se aprecian en escalas grandes observando las fotos aéreas con más detalle (con un aumento de 6x o 8x p.ej.). Algunos términos descriptivos para la textura son los siguientes: gruesa, fina, rayada, manchada o se la compara con tramas de textiles.

El método de trabajo tradicional ha sido el dibujo de los diferentes objetos o zonas isomorfas que aparecen en la fotografía en acetato transparente, al mismo que tiempo que se observa el par de fotogramas con estereoscopio. Además es posible corregir y georreferenciar de forma semiautomática un fotograma escaneado, de este modo puede integrarse en un Sistema de Información Geográfica. Existen también estereoscopios adaptados para trabajar en la pantalla del ordenador.

❖ **La interpretación foto geológica se puede realizar a través de:**

- **Identificación directa** de las formas del terreno y estructuras geológicas, p.ej. conos volcánicos, corrientes de lava, escombreras de faldas, terrazas aluviales, usos del suelo, vegetación etc.

Directamente se puede identificar p.ej. dunas, escombros de falda, terrazas aluviales, morrenas, morfología producida por erosión glaciaria, deslizamiento y desprendimiento de terreno inestable, dolinas, conos volcánicos, corrientes de lavas.

- **Identificación indirecta** por medio de la interpretación de elementos como son los tonos de gris, textura de los tonos, la morfología, la red hidrográfica, el tipo de la distribución de la vegetación.

Indirectamente se puede identificar estructuras formadas por la erosión diferencial como p.ej.: conos volcánicos erosionados con núcleo más resistente a la erosión, que cumbre en forma de cúpula como cuello volcánico; diques sobresalientes o hundidos dependientes de su resistencia relativa a la erosión con respecto a las rocas encajantes; rocas sedimentarias resistentes a la erosión y sobresalientes en forma de lomas; complejos intrusivos; aureolas de contacto, que pueden presentar zonas más resistentes a la erosión; estructuras plegadas y fallas.

❖ **Factores geológicos determinantes del tono y de la textura son los siguientes:**

- **Color de las rocas:** Granito fresco de tonos más claros como basalto; diques aplíticos de tonos más claros como filitas o gneises encajantes en un terreno metamórfico. Tenga en cuenta que las rocas meteorizadas presentan colores diferentes a los de sus equivalentes frescos.
- **Estructura superficial de las rocas:** Superficies lisas, densas, regulares de tonos claros y uniformes; rocas de grano grueso, de superficie rugosa de tonos más

oscuros. Tenga en cuenta que las rocas meteorizadas y tectonizadas presentan superficies diferentes a las de sus equivalentes frescos.

❖ **Factores determinantes del tono y de la textura, que dependen del objeto fotografiado, son los siguientes:**

- ✓ Suelos: Color y textura de los suelos determinan tono y textura del gris; en el caso de suelos residuales, se pueden sacar conclusiones sobre el tipo de roca original. Tenga en cuenta que los tipos de suelo también dependen del clima, de la topografía, de la humedad, de la vegetación y de otros factores más.
- ✓ Humedad: Áreas húmedas de tonos más oscuros, áreas áridas de tonos más claros; las diferencias de humedad pueden dar informaciones sobre diversos tipos de rocas y suelos, pues la humedad depende de la porosidad, que a su vez depende de la litología. Tenga en cuenta que la humedad depende directamente del clima.
- ✓ Vegetación: color y tipo de sombra de la vegetación influyen en el tono y la textura del gris; distribución y tipo de vegetación a menudo pueden indicar el tipo de suelo y las estructuras geológicas bajo la cubierta vegetal. Tenga en cuenta que depende del clima y de influencias antropogénas y de otros factores más. Alineaciones de la vegetación pueden originarse en diferentes tipos de rocas aflorando en forma de franjas como p.ej. alternancias de rocas sedimentarias buzantes, y en fallas o en sistemas de fallas.
- ✓ Los factores independientes del objeto fotografiado que determinan tono y textura son: Exposición solar, Factores fotográficos (sensibilidad del rollo, filtros, revelado)

❖ **La red hidrográfica**

Depende directamente de la litología y de la estructura del área de estudio. La red hidrográfica se caracteriza en base de las direcciones, las ramificaciones, la densidad de los ríos, quebradas y otros cursos de agua.

Se distinguen los siguientes tipos principales de redes hidrográficas<sup>2</sup>:

### 1. Red dendrítica.

Indica un subsuelo homogéneo y se desarrolla en sedimentos sueltos con superficies homogéneas como arena, limo y arcilla, en rocas cristalinas y metamórficas, que no son afectadas zonas de fallas, en rocas sedimentarias horizontales o poco inclinadas, no fracturadas o diaclasadas en rocas masivos, resistentes con respecto a la erosión en regiones áridas como p.ej. cuarcitas, areniscas, conglomerados.



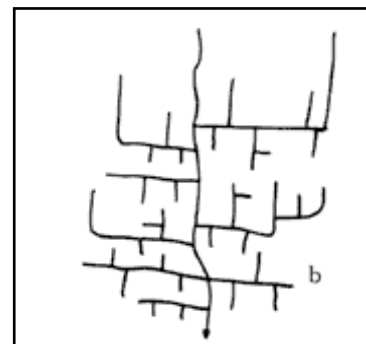
La densidad de los cursos de agua de una red dendrítica depende de las precipitaciones y del escurrimiento (infiltración).

Una red dendrítica fina se desarrolla en un subsuelo relativamente impermeable y poco resistente con respecto a la erosión (en arcillas, arenas finas, margas, tufitas p. ej.).

Una red dendrítica gruesa se desarrolla en areniscas de grano grueso, de alta permeabilidad, en rocas intrusivas de grano grueso no o solo ligeramente fracturadas, en regiones húmedas en carbonatos y dolomitas, donde agua cársica infiltra el subsuelo.

### 2. Red rectangular.

En este tipo de red los afluentes principales se presentan de manera paralela y generalmente entre el tributario y el principal se cortan en ángulos rectos y los afluentes son largos pero con conexiones cortas entre ellos.



Hay una marcada influencia estructural, y puede reflejar sistemas de fracturas perpendiculares entre sí en las rocas subyacentes.

<sup>2</sup> La información referida a los diseños hídricos fue extraída del siguiente enlace:  
<https://es.scribd.com/doc/5581866/PATRONES-DE-DRENAJE>



El ambiente se caracteriza por la presencia moderada de vegetación, precipitaciones anuales moderadas y escorrentía superficial también moderada.

Se desarrolla en áreas de rocas cristalinas disectadas por un sistema de fracturas ortogonal. En altiplanicies cubiertas de rocas sedimentarias +/- horizontales. En dimensiones pequeñas en areniscas diaclasadas en zonas áridas o semiáridas.

### **3. Red reticular o enrejado.**

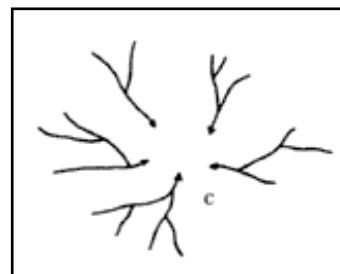
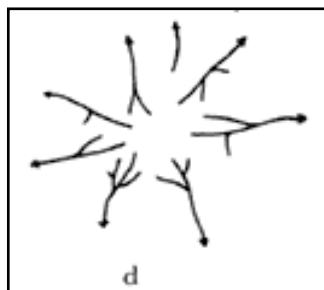
Puede indicar una alternancia de estratos subyacentes de rocas resistentes y no resistentes a la erosión, de manera particular de rocas fuertemente plegadas o empinadas. El sistema está conformado entre canales que siguen las depresiones junto con los que corren a lo largo de pendientes opuestas, ambos se combinan para formar un sistema enrejado con afluentes cortos (a diferencia del sistema rectangular que son largos).

En este diseño los ríos tributarios de primer orden son largos y de trazo recto, muchas veces corren paralelos al curso principal.

Poseen un fuerte control estructural definido por pliegues, donde los cursos cortos se deslizan sobre las capas más resistentes levantadas.

### **4. Red radial.**

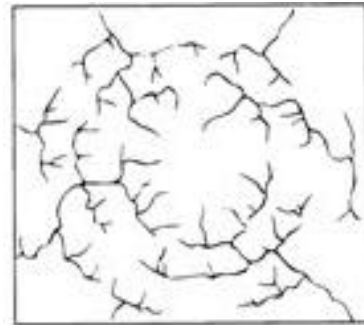
Se desarrolla en terrenos altos (red de afluentes centrífuga) o bajos (red de afluentes centrípeta) de forma circular o eclíptica como conos volcánicos, intrusivos graníticos, domos de sal, anticlinales, sinclinales.



## 5. Red Anular

Este modelo es una variación del diseño radial.

Este tipo de diseño aparece cuando el drenaje se acomoda alrededor de un domo de material resistente. Puede originarse en una modificación de una forma radial, si el domo ha plegado estratos alterados de diferente resistencia.



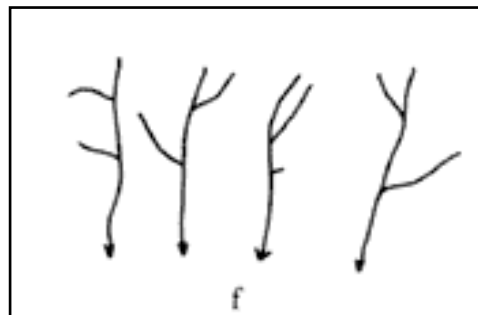
Los tributarios seguirán los estratos débiles, confluyendo en ángulo recto con los cursos radiales.

Son el resultado típico donde hay cuerpos intrusivos que atraviesan rocas sedimentarias, con un buen control topográfico y las características físico mecánicas de las rocas sedimentarias.

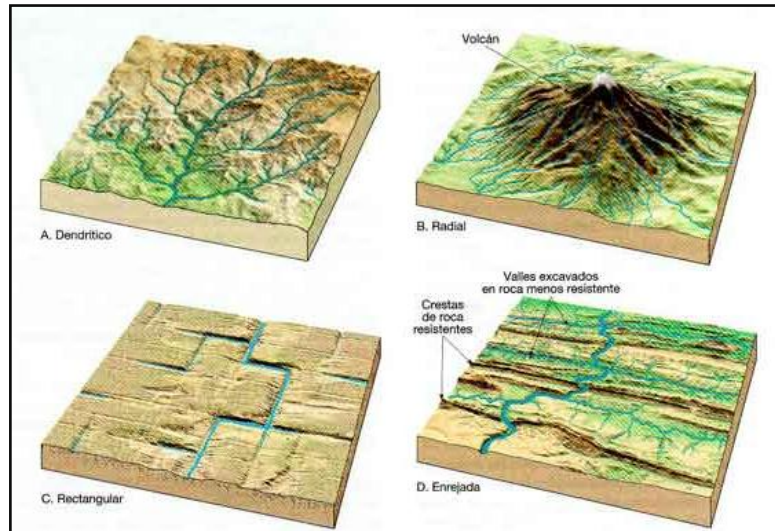
Las características ambientales de este tipo de diseño está dado por la presencia de terrenos inestables, con materiales de variada permeabilidad y dureza, con presencia moderada a alta de vegetación.

## 6. Red Paralela

Los canales de drenaje son paralelos, su dirección está definida por la pendiente regional del terreno, este paralelismo no exige un orden de importancia de los canales. Mientras mayor sea la pendiente definida en una dirección se presentará mayor paralelismo entre los cauces.



Este modelo se presenta cuando existen pendientes muy altas a nivel regional, pero con pocas variaciones entre ella, con algún tipo de control estructural y materiales con baja permeabilidad, la presencia de vegetación es baja y los cursos en general cortos.



**Ilustración 21. Modelos de drenaje. A. Dendrítico. B. Radial. C. Rectangular D. Enrejada.** Fuente: [http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=398&Itemid=96&limitstart=18](http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=398&Itemid=96&limitstart=18)

## 7. Anomalías en la red de drenaje.

Cuando la forma, densidad o dirección de los cursos de agua o el ancho, la profundidad o las características de las terrazas de un valle varían con respecto al esquema general del área de estudio se habla de anomalías en la red de drenaje.

Ejemplos de algunas anomalías son:

- (a) Un recorrido rectilíneo de secciones de los cursos de agua puede indicar fallas, diaclasas, fracturas o cambios en la dureza de las rocas,
- (b) un cambio brusco en la densidad de la red de drenaje puede indicar un cambio brusco de la litología,
- (c) cambios repentinos en las características de los valles pueden indicar un cambio litológico o tectónico o un límite entre dos áreas de historia epirogenética distinta,
- (d) la distribución rectilínea de vertientes y sumergidos naturales puede indicar cambios litológicos en contactos de rocas sedimentarias, fallas o zonas de fracturamiento.
- (e) Ningún drenaje superficial existe en sedimentos sueltos de grano grueso como en arenas gruesas o en gravas, que forman terrazas fluviales, sedimentos fluvio-glaciales o eólicos.

La Información que se puede obtener a partir de fotos aéreas, depende de los factores siguientes:

- Factores geológicos

Las rocas sedimentarias suministran la mayor cantidad de información: estratificación indica cambio litológico y distinta resistencia frente a la erosión.

Menos adecuados para un estudio fotogeológico son las rocas ígneas por su comportamiento relativamente uniforme frente a la erosión, las rocas metamórficas por su gran homogeneidad y áreas cubiertas por sedimentos sueltos.

- Factores climáticos

Zonas áridas y semiáridas son bien adecuadas para un estudio fotogeológico por la frecuencia alta de afloramientos, por la poca vegetación y la poca profundidad de meteorización. Además la vegetación responde con exactitud a la oferta de nutrientes, que depende de la litología o de la capa de rocas meteorizadas, que cubre las rocas subyacentes.

Zonas tropicales o de clima templado son menos adecuados para un estudio fotogeológico por su meteorización muy profunda y su capa de vegetación cerrada. Además la meteorización química homogeneiza el suelo de tal manera que la vegetación rara vez responde a las características de las rocas subyacentes.

Zonas de nieve y glaciares son menos adecuadas por un estudio fotogeológico por la capa de nieve, que cubre la morfología del terreno.

- Grado de madurez del área de estudio

Madurez se refiere al efecto de la erosión en un área. Un área afectado intensamente por la erosión muestra un relieve relativamente plano, poco destacado, un área poco afectada por la erosión es de un relieve abrupto y fuertemente disectado.

Regiones de relieve inmaduro con morfología disectada proporcionan mayor cantidad y mejor calidad de información geológica que las regiones maduras como los peneplanicies.

- Escala de la foto:  
Escala pequeña = pocos detalles, visión global;  
escala grande = muchos detalles, visión detallada.
- Calidad de la foto:  
Depende de la absorción y dispersión de la atmósfera en el momento de la exposición, de las características del rollo, de la calidad del revelado.

## **LAS IMÁGENES SATELITALES**

Rasterización versus Vectorización: Los términos “raster” y “vector” se emplean con frecuencia para describir la información geoespacial. Las imágenes digitales de satélites son conjuntos de datos rasterizados, lo cual significa que la imagen está comprimida en numerosos elementos conocidos como “píxeles” (picture elements) que cubren la totalidad de la escena. Los conjuntos de datos vectoriales, por el contrario, son mucho más abstractos y están compuestos por puntos, líneas y polígonos.

Por la propia naturaleza del proceso digital, las imágenes obtenidas por los sensores son del tipo “raster”. Los sensores electro – ópticos exploran la superficie del planeta midiendo la energía EM reflejada por miles de áreas elementales terrestres, definidas con alta precisión. Estas áreas tienen una dimensión conocida como “distancia de muestreo de tierra” o GSD, la que se corresponde con la resolución espacial y las dimensiones del píxel.

Por ejemplo, si un sensor tiene una GSD de 10 m, ello significa que en su franja de imagen mide la reflectancia sobre una superficie elemental de 10 x 10 m; si a la vez se trata de un sensor multiespectral, medirá la reflectancia en varias bandas del espectro pero siempre sobre la misma superficie. A cada píxel se le asigna un valor, o número digital, que depende del valor de su reflectancia, relacionándose así el píxel con la GSD.

Durante el tratamiento de las imágenes, la computadora convierte el valor de la reflectancia de cada píxel en una escala de grises o de grado de brillo de un color. La escala de gris monocromática se utiliza para representar imágenes pancromáticas puesto que éstas se componen de valores de reflectancia en una sola banda del espectro. Así, la imagen impresa tiene el aspecto de una foto tomada con emulsión pancromática.

En las imágenes multiespectrales cada píxel tiene un color resultante de combinar niveles de brillo en el rojo, el verde y el azul, correspondientes al valor de la reflectancia en cada una de esas bandas del espectro visible; de este modo la imagen producida tiene el aspecto de una fotografía tomada con emulsión color.

#### ❖ **La interpretación de imágenes**

Hay que tener en cuenta que los valores espectrales son sólo una parte de la información contenida en las imágenes de satélites. Cada píxel contiene datos espaciales y espectrales, lo cual significa que se pueden identificar visualmente accidentes y objetos del terreno por su apariencia física. Las “formas” a analizar son prácticamente las mismas que aparecen en un aerofotograma convencional: un edificio se ve como un edificio y un campo arado se ve como un campo arado.

En cuanto a la información espectral, la intensidad del color de la imagen aporta también un dato a analizar. Por ejemplo, si se ha elegido el color rojo para representar visualmente la reflectancia de un objeto en el IR cercano, la vegetación aparecerá de color rojo brillante gracias a su muy alta reflectancia en esa banda del espectro.

La interpretación de una imagen puede ir desde la simple inspección visual hasta el empleo de sistemas de procesamiento de imágenes, los que analizan y tipifican cada rasgo del terreno en base al valor digital de sus respectivas “firmas” espectrales. Los programas informáticos de procesamiento de imágenes y algunos de cartografía, efectúan dicho análisis y tipificación con mucha mayor precisión que el ojo humano.

### ❖ Resolución de una imagen

Se habla del término resolución de una imagen de satélite, cuando se hace referencia a las características técnicas que posee el satélite y el sensor que captan la información y que luego se expresa visual y digitalmente en la imagen. Estas características es lo que permite posteriormente extraer mayor o menor información de la imagen. La selección de un tipo de imagen, dependerá del objetivo de la investigación, y por lo tanto es muy importante tener en cuenta la resolución.

### Resolución espacial

*Esta resolución está relacionada con el tamaño del pixel.*

*El pixel, corresponde a una tesselas, es decir la unidad mínima de distancia que posee una imagen, en las cuales se almacena la información de la entidad a la que pertenecen.*



Ilustración 22. Resolución espacial para diferentes sensores. Fuente: Unesco

Es una de las características más importantes que se debe considerar al elegir un producto, porque determina en forma directa qué grado de detalle se podrá interpretar y cartografiar. Este factor influye notoriamente sobre el costo de cada proyecto, no sólo porque cuantos mayores sean los detalles mayor será el costo del producto, sino porque además un exceso de detalles conlleva un mayor tiempo de interpretación y procesamiento, muchas veces innecesarios según los alcances del estudio.



Ilustración 23. Comparación de resolución espacial para la mina Veladero. Fuente: Elaboración propia.

Resoluciones de diferentes satélites y sensores remotos				
Satélite	Sensor	Resolución Espacial	Resolución Espectral	Resolución Temporal
LANDSAT 5	MSS	75 m	4 bandas	16 días
	TM	30m	7 bandas	16 días
LANDSAT 7	ETM+ (Multiespectral)	30 m	7 bandas	16 días
	ETM+ (Pancro)	15m	1banda	16 días
SPOT	Multiespectral	20m	4 bandas	26 días
		10m (SPOT 5)		
	Pancro	10m 5m (SPOT 5)	1 banda	26 días
NOAA	AVHRR	1.1 Km.	5 bandas	12 horas
		4 Km.	2 bandas	12 horas
Ikonos	Multiespectral	4 m	4 bandas	2 días
	Pancro	1 m	1 bandas	2 días
QuickBird	Multiespectral	2,50 m	4 Bandas	1-4 días
	Pancro	0,61 m	1 Bandas	1-4 días

Ilustración 24. Resoluciones de diferentes satélites y sensores remotos. Fuente: <http://lageomatica.blogspot.com.ar/2014/07/los-satelites-y-resoluciones.html>

Es fundamental comprender que a medida que mejora la resolución espacial, el tamaño de los archivos digitales aumenta en forma espectacular y exige, para su procesamiento, una capacidad de almacenamiento en la PC bastante significativa. Por ejemplo, una imagen pancromática SPOT de 60 x 60 km, con 10 m de resolución espacial, en bruto,



ocupa 36 Mb; la misma área en la superficie del terreno, pero cubierta con una imagen con resolución de 1,00 m exige de 3000 a 4000 Mb, es decir, de 3 a 4 Gb, no siendo ya para una PC cualquiera.

**Precisión:** Esta es una característica de la imagen que, con frecuencia, no es tomada en consideración, siendo en realidad de gran importancia para trabajos cartográficos. Por “precisión” se entiende a la seguridad de un objeto dado se encuentre en el terreno en el mismo lugar exacto donde se lo ve en la imagen. Por lo general la precisión se expresa en pixeles que luego se convierten a metros.

Por ejemplo, una imagen con resolución de 10 m puede tener la precisión de 1 pixel, lo que significa que un objeto de la imagen puede estar corrido 10 m de su sitio exacto, en cualquier dirección. Para un catastro urbano o de terrenos de alto valor unitario tal inexactitud puede resultar excesiva, pero cuando se trata de relevamientos en parajes de difícil acceso como la cordillera o las selvas tropicales, o de bajo valor como las planicies patagónicas, la rapidez y el bajo costo con que se dispone de esta información espacial representan ventajas insuperables.

Este tipo de información puede ser observado en una misma imagen tanto de tipo fotográfico como alfanumérica, pues se trata de la representación cartográfica de los objetos, distribuidos espacialmente por el campo de la imagen. Las variaciones en el tamaño y forma de una cubierta vegetal, las dimensiones de un lago, la superficie cubierta de nieve, la vastedad de una inundación, etc, son todos datos relacionados a la resolución “espacial”.

### **Elección de la resolución espacial mas adecuada**

Un factor de importancia que debe tenerse en cuenta cuando se pretende utilizar imágenes de satélites es la relación que existe entre las dimensiones de la escena y la resolución espacial. Una gran resolución espacial, por ejemplo de 1 m, se corresponde con un área de cobertura pequeña y archivos digitales de gran magnitud, como ya se vio. Cuando se elige una imagen se deben equilibrar estos dos parámetros de tal modo que

sea posible discernir los objetos que demanda el estudio, pero sin exigir mayores detalles innecesarios.

<b>resolución espacial adecuada</b>				
	detecta y permite cartografiar	permite detectar	evaluar	facilita diferenciar
<b>1 m</b>	Rasgos a escala humana superiores a 1 m <sup>2</sup> , tales como tapas de alcantarillas, bancos de plaza, automóviles, cocheras, carriles de autopista, aceras, cercos, árboles y arbustos, sendas, etc.  Ampliaciones o mejoras en construcciones, edificios, jardines y patios, explotaciones agrícolas, avícolas (o similares) y ganaderas en general.	Ciertas características de los objetos observados.  Pequeñas “manchas” de estrés en cultivos o áreas boscosas y arboledas.		Los tipos de construcciones o viviendas y edificios
<b>10 m</b>	edificios, lotes, carreteras, campos de deportes y de cultivo, granjas, calles y huellas secundarias ;		El estado de salud y desarrollo de parcelas cultivadas y naturales.  Los alcances de inundaciones y áreas anegadas.	Los tipos de construcciones o viviendas y edificios.  Clasificar suelos y sus características básicas.
<b>20 a 30 m</b>	Aeropuertos, cascos urbanos, barriadas periféricas, centros comerciales, complejos deportivos, fábricas y escuelas, bosques y explotaciones agrícolas de gran amplitud.	Contactos litológicos		Clasificar suelos sin grandes detalles.
<b>80 m</b>	Estructuras geológicas regionales.		El desarrollo y salud de cultivos de gran extensión.	
<b>1000 m</b>		Eventos o procesos regionales como inundaciones, plagas de insectos, sequías y niveles de desertificación.	El grado general de desarrollo en regiones, provincias o países completos, de modo global.	

**Tabla 2. Aplicación de la resolución espacial adecuada.**

## Resolución Espectral

La resolución espectral está relacionada con la capacidad del sensor de captar la energía electromagnética en un rango de terminado delongitud de onda.

Esto se traduce en un número de bandas, cada una de las cuales corresponde a un intervalo de longitud de onda.

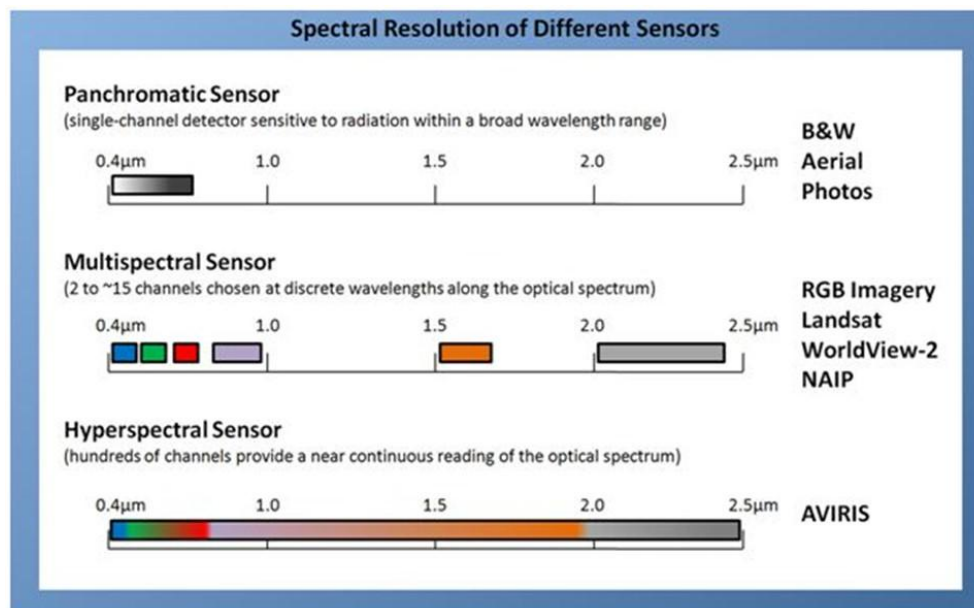


Ilustración 25. Comparación de la resolución espectral para diferentes sensores. Fuente: <http://maaz.ihmc.us/rid=1NMV3BS4R-B1V3V4-1632/Tipos%20de%20Resolucion%20Imagenes%20Satelitales.cmap>

El sensor capta la energía reflejada/emitada desde la superficie de la tierra y tiene la capacidad de dividir el rango del espectro en fracciones. Cada una de estas fracciones representa una banda.

Según las características técnicas del satélite podrá obtener un rango más amplio o menos del espectro y dividirlo en más o menos bandas. Las imágenes obtenidas de esta manera se denominan multiespectrales. Cuando el número de bandas que se obtiene es muy elevado, se denominan imágenes hiperespectrales.

El gráfico muestra la diferencias entre las imágenes del satélite Landsat en verde y las ASTER en rojo. Landsat puede captar tres bandas en el visible (bandas 1, 2, 3) una

banda en el infrarrojo cercano (banda 4) dos bandas en el infrarrojo medio (bandas 5, 7), una banda en el infrarrojo térmico (banda 6). Por otro lado ASTER tiene una resolución de 14 bandas, tres bandas en el visible-infrarrojo cercano (VNIR), seis bandas en el infrarrojo medio y cinco en el infrarrojo termal.

### Resolución Radiométrica

*La resolución radiométrica está relacionada con la capacidad del sensor de almacenar la energía que capta en un valor digital o bit por pixel.*

*En la mayoría de los casos las imágenes de satélite monobanda poseen una resolución radiométrica de 8bits, es decir que se pueden diferenciar 256 niveles de grises. El 0 corresponde al color negro y el 255 al color blanco.*



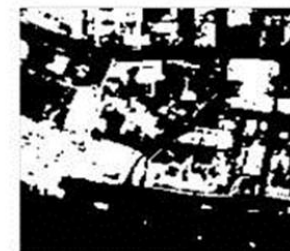
8-bit (256 niveles de grises)



4-bit (16 niveles de grises)



2-bit (4 niveles de grises)



1-bit (2 niveles de grises)

**Ilustración 26. Niveles de resolución radiométrica.**

Fuente: <http://maaz.ihmc.us/rid=1NMV3BS4R-B1V3V4-1632/Tipos%20de%20Resolucion%20Imágenes%20Satelitales.cmap>

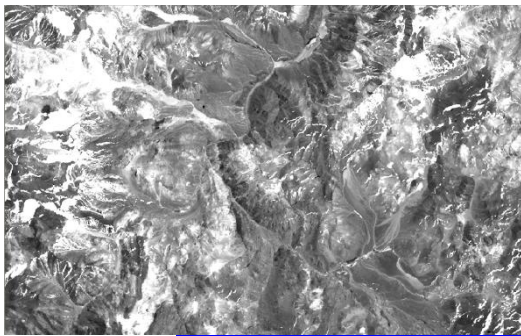
En realidad, y al margen de la cantidad de bandas o canales en los que pueda registrar el sistema, tanto aeroportado como satelizado, para confeccionar una imagen de tipo fotográfico solamente se puede operar con tres bandas por vez, a las que se les asignan arbitrariamente los colores fundamentales azul, verde y rojo.

Cuando combinamos tres imágenes de 8 bits, en una paleta de colores RGB (Rojo – Green – Blue), obtenemos una nueva imagen de 24 bits. Este es el criterio general con que se pueden combinar tres monobandas de satélite para obtener una nueva imagen multibanda.

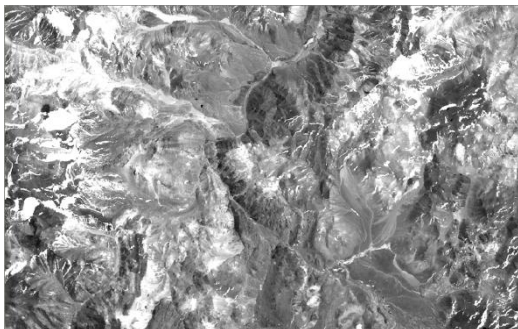


La posibilidad de utilizar una paleta de colores RGB para combinar distintas bandas permite interpretar visualmente las coberturas del territorio resaltando ciertas coberturas con respecto a otras, en función del objetivo de la investigación. Las combinaciones de colores se emplean para discriminar geformas, geología, usos del suelo, vegetación, morfología urbana, etc.

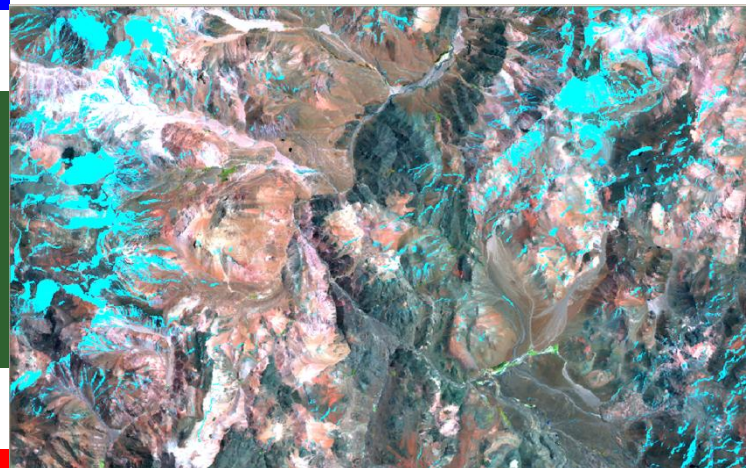
Banda 3



Banda 4



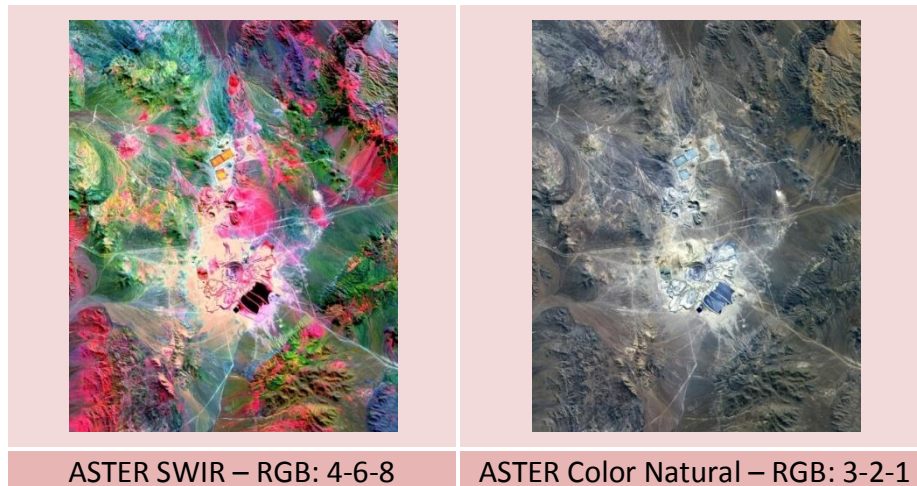
Banda 5



**Combinación FFC  
RGB: 543**

**Ilustración 27. Monobandas en tonos de grises y combinación falso color compuesta (FFC) de las bandas 5-4-3. Zona de Veladero. Imagen Landsat 5 TM. Fuente: Elaboración propia.**





**Ilustración 28. Mina Escondida, Chile (cobre).** Fuente:  
[http://www.satimagingcorp.com/applications/energy/mining/mining\\_es/](http://www.satimagingcorp.com/applications/energy/mining/mining_es/)

### Resolución Temporal

La resolución temporal está relacionada con la capacidad del satélite de realizar la revisita de un mismo sitio, cada cierto tiempo y captar la información de un punto de la tierra nuevamente.

Esta característica que está relacionada con la frecuencia de paso del satélite por un mismo punto de la superficie terrestre, varía según el tipo de satélite.

Satélite/Sensor	Tiempo de Revisita
Quickbird	22 días
Terra – ASTER	16 días
Landsat ETM+	16 días
AVHRR/2 (NOAA-14)	9 días (dos coberturas globales por día, diurna y nocturna)
IKONOS – 2	144 días (subciclo: 3,5-5 días)
SAC-D HSC	16 días

Fuente: Elaboración propia en base a CONAE, 2014.

Las variaciones temporales se producen cuando se captan datos de un mismo sitio en momentos distintos, que pueden ser horas, días o años. Por ejemplo, en San Juan existen coberturas aéreas tomadas en 1960, 1966 y 1981, lo cual brinda una información temporal valiosísima para definir dinámicas socioeconómicas, el retroceso de los glaciares, la depredación del bosque natural, etc., en un lapso de 20 años. De modo similar, los satélites que recogen datos de un mismo sitio cada 8, 16 ó 24 días, permiten

medir la evolución de las cosechas, la humedad del suelo, las variaciones del manto níveo, etc., con total regularidad.

Los ciclos de pasadas sucesivas se producen cuando un satélite se mueve en una órbita pre- establecida, que lo hace pasar sobre un punto determinado de la superficie terrestre una vez cada cierta cantidad de días. Los sensores que poseen ángulo de visión variable pueden captar imágenes con mayor frecuencia que la de su ciclo de las pasadas, ya que pueden apuntar hacia los costados para cubrir una faja sobre puntos sobre los que no volvería a pasar hasta dentro de varios días. Esta capacidad tiene una gran aplicación cuando se requiere monitorear sucesos cuya dinámica exige frecuencias mayores a la del ciclo de pasadas (desplazamiento de un ciclón, inundaciones, vulcanismo, colapso de laderas, incendios forestales, etc.).

Cuando se desea realizar el análisis de un proceso o fenómeno, es preciso contar con imágenes de diferentes años, para la misma época.

#### ❖ **Productos en base a imágenes**

Uno de los aspectos más valiosos de las imágenes digitales es que pueden ser procesadas, manipuladas y realizadas mediante una PC y el software correspondiente, dando así lugar a una serie de productos con datos de muy diversa índole. Las imágenes se pueden adquirir en bruto y procesarlas con el programa que se ajuste a los fines de cada usuario, o bien se adquieren directamente con las especificaciones del caso. Una lista general de los productos obtenibles y sus características es la siguiente.

- ✓ Mapas de clasificación: Son llamados también “mapas morfológicos” o “mapas temáticos”. Son probablemente los tipos más usados entre los que se pueden preparar en base a los datos captados por las imágenes de satélites. En un mapa temático las áreas abarcadas se clasifican y agrupan en “zonas isomorfas”, que pueden ser clases de ocupación y usos del suelo. Las clasificaciones pueden ser amplias: zonas urbanas, bosques, campo abierto, masas de agua, campos de nieve; o bien pueden ser más específicas, diferenciando cultivos: maíz, soja, girasol, sorgo,

etc. La cartografía se realiza utilizando distintos tipos de colores y/o de rastras, en base a códigos de uso general.

- ✓ Modelos digitales de terreno: A veces se los llama también “modelos digitales de cotas”, pues contienen datos sobre formas del relieve (elevaciones y depresiones), obtenidas mediante métodos fotogramétricos en base a pares estereoscópicos con el “overlapping” adecuado. Estos productos se usan corrientemente para preparar modelos tridimensionales de gran aplicación en los programas informáticos de visualización de Ingeniería Civil, cartografía geológica, hidrología, manejo del territorio, simulación de vuelos, etc.
  
- ✓ Fusiones: Es posible fundir dos tipos de imágenes distintas para crear un producto híbrido que aúne las ventajas de ambas. Lo más habitual es fundir una imagen pancromática como la SPOT de 10 m con otra multiespectral también SPOT de 20 m ó Landsat de 30 m.  
Esto genera una imagen que contiene la información multiespectral sumada a la espacial de la imagen pancro. Con el fin de facilitar la fusión, el satélite SPOT 4 puede registrar a bordo en forma simultánea los datos de las imágenes de 10 y de 20 metros.
  
- ✓ Mosaicos: Es frecuente que la escena de una imagen no abarque toda el área de interés para el proyecto en marcha. En tal caso, se puede disponer de dos o más escenas adyacentes montando un mosaico que las reúna mediante complejos algoritmos informáticos que hacen coincidir exactamente los bordes de las escenas, equilibrando a la vez los colores a fin de crear una base de datos sin “fisuras” en toda la región integrada.
  
- ✓ Detección de cambios: Para crear una imagen de detección de cambios se aplican algoritmos especiales a dos imágenes de una misma zona, captadas en pasadas distintas de acuerdo a la dinámica de lo que se desea monitorear. La PC examina todos y cada uno de los pixeles de las dos escenas para determinar qué valores de



píxel han cambiado. En la mayoría de los casos el área modificada se resalta con colores. Este procedimiento se utiliza habitualmente para cartografiar automáticamente extensas zonas e identificar cambios como nuevos edificios, oleoductos, carreteras, urbanizaciones, etc. De este modo se detectan variaciones radicales, como la transformación de bosques en cultivos (caso de la Amazonia).

✓ **Formatos:** Para asegurar el uso y la divulgación de una imagen de cualquier lugar del mundo, en un paquete estándar de procesamiento o un sistema SIG, se aplica alguno de los formatos estándar siguientes: Band Interleaved by Line (BIL); Band Sequential (BSQ); GeoTIFF (Tagged Image File Format) Este último se trata de un archivo TIFF estándar que contiene información geográfica. Se suele utilizar para manipulación digital de datos geográficos.

✓ **Escala:** Las imágenes captadas con los sistemas satelizados no tienen escala propia. Al respecto, existe un límite para la escala de los mapas e imágenes tipo fotográfico que se pueden confeccionar a partir de cada conjunto de datos digitales.

Resolución de la imagen	Escala típica
1000 metros	1 : 1.500.000
30 metros	1 : 80.000
20 metros	1 : 50.000
10 metros	1 : 25.000
5 metros	1 : 12.000
1 metro	1 : 2.000

La escala geográfica depende de la calidad de los datos de la imagen requerida y está muy relacionada con la resolución espacial. Por lo general, un conjunto de datos con resolución espacial superior produce una foto o mapa con escala geográfica mayor. La Tabla siguiente aclara esta relación, recomendando la escala más apropiada para cada resolución, a fin de que los productos no pierdan nitidez.

#### ❖ **Niveles de procesamiento de los productos**

Las imágenes captadas desde satélites pueden tratarse para realzar su apariencia visual y su exactitud geométrica. Cuando se contrata un producto, el laboratorio debe estar en

condiciones de ofrecer múltiples posibilidades de procesamiento, por lo que el interesado a su vez debe estar en condiciones de saber bien qué es lo que necesita. Esta elección por lo general se hace de acuerdo al tipo de programa informático que el interesado tiene disponible para el proyecto en cuestión.

La lista que sigue a continuación es de tipo genérico, ya que generalmente cada proveedor adopta nombres particulares con su patente correspondiente, los que son equivalentes a las denominaciones que aquí siguen. Según el proveedor que sea, para evitar confusiones conviene que aclare bien qué sistema de procesamiento es el que comercializa.

**Datos en bruto:** Se trata del nivel de procesamiento más elemental. En la mayoría de las imágenes captadas desde satélites los datos en bruto disponen de cierta corrección geométrica y radiométrica, lo que significa que sólo se han eliminado las distorsiones propias del sensor que lleva el satélite.

**Corrección geométrica:** Los datos de la imagen se han vuelto a muestrear para corregir los errores geométricos causados por el movimiento de rotación terrestre y por el ángulo de incidencia propio del sensor.

**Geocodificación básica:** Los datos se transportan a coordenadas geográficas, utilizando para ello la información de ubicación registrada por el satélite en el momento de captar la imagen, la que es llevada a la proyección topográfica que el cliente haya solicitado.

**Geocodificación total:** Los datos se corrigen mediante puntos de control en tierra ("amarre"), tanto procedentes de cartas existentes como de mediciones con GPS realizadas a tal efecto.

**Ortorrectificación:** Es un proceso informatizado por el que se eliminan las distorsiones horizontales y verticales provocadas generalmente por el relieve. Así se

mejora notablemente la calidad y se amplían los usos de las imágenes porque resultan tan precisas como una carta convencional.

**Realce:** El laboratorio de procesamiento aplica algoritmos informáticos destinados a aumentar la calidad de la imagen y a la vez destacar ciertos rasgos que interesen particularmente. El realce más común es el llamado Contrast Stretching por el que se reasignan los valores de reflectancia de los píxeles para abarcar toda la gama de 256 tonos de gris (8 bits). Es como ajustar el comando de un televisor para que no se pierdan detalles en zonas muy oscuras o muy brillantes. Actualmente, algunos programas realzan imágenes a 16 ó 32 bits (16 ó 32 millones de tonos de colores)

#### ❖ **Imágenes de archivo**

Las imágenes de satélites se pueden considerar como los mapas más actuales de que se dispone, porque pueden haber sido captadas ayer mismo. Sin embargo, si esta actualización no resulta imprescindible (cuando se realizan estudios geológicos, por ejemplo) las imágenes tomadas tiempo atrás también son de la misma utilidad; entonces se acude al archivo de imágenes. Por el otro lado, cuando se trata de identificar fenómenos dinámicos (uso del suelo, deforestación, inundaciones, nieve, desarrollo urbano, etc.) esos mismos datos de archivo sirven para compararlos con los obtenidos ayer. Con respecto a las imágenes de archivo caben las siguientes consideraciones:

**Costo:** Los datos de archivo son casi siempre más baratos que los de última captación, especialmente si se adquieren en forma menos elaborada. De todos modos, en vista de la antigüedad de los mapas usualmente disponibles (varias décadas algunos), todas las imágenes de archivo están mucho más actualizadas.

**Disponibilidad de la escena:** Como en la actualidad se dispone de millones de escenas, captadas por los numerosos satélites en operaciones, es muy poco probable que no se encuentre una escena que pudiera necesitarse para el proyecto encarado. Puede darse el caso de que la zona pretendida esté casi siempre cubierta por bancos de nubes (como en

la cordillera patagónica, por ejemplo), situación que hoy se supera acudiendo a los satélites que portan sistemas de radar. Como las pasadas sobre un sitio determinado se repiten en periodos que varían entre 5 y 44 días, es posible obtener escenas para cualquier época del año a partir del momento del inicio operativo del sistema satelizado que más se preste para el proyecto en cuestión.

Disponibilidad de formato: Algunas imágenes actuales se ofrecen en formatos distintos a las de archivo. Por ello es conveniente averiguar, cuando se requiera una imagen antigua, en qué formato se encuentra disponible.

Cobertura global: Un archivo de imágenes puede tener disponible un área de cobertura limitada. Las regiones del hemisferio norte (USA y Europa) tienen más probabilidades de estar en el archivo que otras áreas económicamente menos activas; por esta razón si se desea adquirir imágenes antiguas es conveniente consultar previamente sobre su existencia.

Posibilidad de búsqueda: Muchas empresas que comercian imágenes de satélites disponen de archivos que se pueden encontrar en Internet; para ello debe acotarse en la búsqueda la zona geográfica, fecha y presencia de nubes máxima admisible. Casi todos los servicios de búsqueda permiten ver la imagen posible antes de concretar su compra, de modo que si cumple con las necesidades previstas se hace el pedido en firme por línea. De este modo se puede llegar a realizar toda la operación por vía Internet.

Puede elegirse entre una imagen nueva y otra de archivo según las pautas siguientes:

(a) Comprar una imagen antigua si:

- se está realizando un estudio comparativo de procesos dinámicos ante una situación actual conocida;
- las variaciones de la cubierta vegetal, del desarrollo urbano, de infraestructura y/o del uso del suelo no tienen importancia para el estudio;

- el estudio está enfocado en temas relacionados con Geología y sus derivados, cuya dinámica se mide en miles de años;
- se necesita un documento con gran rapidez aunque la información tenga varios años.

(b) Comprar una imagen nueva si se desea documentar adecuadamente los procesos dinámicos, en particular de origen antrópico;

- el objetivo es mantener actualizada la cartografía, como apoyo al catastro rural, por ej. ;
- se desea monitorear el desarrollo y estado de salud de cultivos, bosques, etc.;
- el estudio exige verificar y controlar procesos de contaminación, particularmente en ríos y lagos de difícil acceso.

#### ❖ **Programas informáticos disponibles**

Si bien una parte importante de la información aportada por las imágenes puede lograrse con interpretación visual, los programas informáticos hoy disponibles son de enorme utilidad. Entre otras razones por la muy simple de que una imagen común tiene 256 tonos de color, mientras el ojo humano sólo diferencia 32.

Los diversos paquetes de software permiten mejorar, analizar, interpretar y extraer datos significativos de las imágenes digitales; estos programas comerciales, antes muy caros, hoy son accesibles a casi todos debido a la tendencia del uso de software libres y se pueden ejecutar en PC comunes con muy poco entrenamiento previo. Hoy se dispone de programas temáticos, aplicados específicamente a minería, explotaciones forestales, manejo urbano y del territorio, etc.

#### ❖ **Tipo y características de los programas más utilizados.**

Visualizador de imágenes raster: Como su nombre lo indica, este tipo de programa se usa principalmente para visualizar y realzar gráficos e imágenes raster. Se emplea con mayor frecuencia para mejorar la calidad de fotogramas escaneados o digitalizados, siendo lo

bastante flexibles como para aumentar el contraste de una imagen digital y así facilitar su interpretación visual. Es un software muy común que se comercializa en todos los locales de informática, por ejemplo Corel Photo Paint.

Procesamiento de imágenes: Los paquetes comerciales destinados a procesar imágenes son ahora extremadamente potentes pese a su sencillez de manejo. Pueden realizar mejoras muy complejas destinadas a realzar las características de la imagen en cuestión, siendo quizás su aplicación más valiosa la capacidad de buscar una imagen y clasificarla en clases de ocupación y usos del suelo similares, proceso llamado “clasificación”, por ejemplo IDRISI, ENVI, PCI, ERDAS, etc. entre los software comerciales. Argentina ha creado a través de la CONAE un software de uso público, esto quiere decir que hay que registrarse como usuario para acceder gratuitamente al mismo, denominado SOPi.

Muchos de estos programas también permiten al usuario fundir una imagen de satélite con otras, con aerofotogramas, imágenes SAR, datos geofísicos (aeromagnéticos, sísmicos, geoquímicos, etc.), así como con datos vectoriales (redes viales, parcelas, datos censales, etc.)

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Los SIG le permiten al usuario superponer diversos tipos de datos rasterizados o vectorizados para hallar, visualizar y analizar las relaciones entre ellas. En un SIG, la imagen se emplea con dos propósitos: (1) constituye un mapa básico idóneo sobre el que se colocan otras capas en una perspectiva geográfica común; (2) la imagen de satélite se utiliza para densificar el SIG con rasgos y objetos del terreno que se localizan e identifican durante la interpretación. Entre los software comerciales se encuentra en ArcView, Arc GIS y QGIS, gvSIG entre los software de uso libre.

## APLICACIONES DE LAS IMÁGENES

En realidad, es prácticamente imposible enumerar todas las especialidades en las que se pueden utilizar imágenes de satélites con gran beneficio, tanto en la cantidad de datos que se pueden extraer, como en la velocidad y economía de la operación en general. No obstante, algunas de las más significativas son las siguientes:

- ✓ **Cartografía general:** El uso más divulgado de las imágenes es identificar, ubicar y cartografiar objetos y caracteres del terreno. En los sistemas de información geográfica (SIG) esta tarea se suele definir como “poblar capas de datos” (o densificar niveles de información).

Las dimensiones de los objetos detectados y cartografiados depende sólo de la resolución de las imágenes, variando desde las grandes formaciones y estructuras geológicas, pasando por redes de autopistas y aeropuertos, hasta edificios particulares y vehículos en las calles. Los mapas se elaboran a partir de imágenes a costos muy bajos y en un tiempo mucho más corto que el empleado para recorrer el campo con un instrumento topográfico.

La cartografía de los rasgos del terreno es muy bien aprovechada por cartógrafos, geólogos de exploración minera, hidrólogos, planificadores del transporte, urbanistas y censistas catastrales, profesionales de los servicios públicos y geólogos regionales.

- ✓ **Clasificación de la cubierta natural:** Esta cartografía se realiza con gran eficacia mediante imágenes multiespectrales, aplicándose para ello un sistema sencillo de procesamiento de imágenes mediante las funciones de clasificación. En este proceso la imagen se divide en áreas con ocupación del suelo común, tales como arboledas, campo abierto, cultivos, agua y urbanizaciones; la clasificación puede afinarse mucho para separar las parcelas cultivadas según el tipo de cereal presente.

Con bastante frecuencia la imagen es codificada con colores arbitrarios de forma que cada cultivo, bosque o suelo (cada “clase”) aparezca con el mismo color en toda la región abarcada. No se debe olvidar la importancia del “muestreo” o de los ensayos paramétricos, como ya se vio al interpretar aerofotogramas, pues la clasificación rara vez agrupa píxeles exactamente iguales y no identifica tipos de cubierta por sí sola, necesitando apoyarse en los datos de campo.

La función de “adiestramiento” (training) es una variante del proceso de clasificación en el que el usuario determina con precisión en la imagen la ubicación conocida de un campo con trigo o de un monte de pinos, y luego el sistema de procesamiento hallará otros pinares y trigales en la misma imagen. La fundamentación teórica de este método se analiza con más detalle en el Anexo “Reconocimiento Automatizado de Diseños”.

Quienes aplican con mayor éxito esta metodología son los censistas y encargados del catastro rural, agricultores, silvicultores, expertos forestales, entes de sanidad vegetal, proyectistas de telecomunicaciones y redes de energía, ingenieros viales, geohidrólogos e hidrólogos, expertos medioambientales y planificadores regionales. Aunque la lista de beneficiarios de una cartografía de fácil actualización y precisa podría alargarse indefinidamente.

- ✓ **Clasificación según usos del suelo:** Es en realidad una variante de la cartografía de la cubierta natural. Para ello se utilizan las mismas técnicas de clasificación y adiestramiento que dividen la imagen en parcelas de igual (o similar) uso del suelo.

Entre las clases más comunes cabe citar terrenos cultivados y/o cultivables, áreas urbanas, instalaciones industriales, barrios residenciales, sectores comerciales, “villas”, edificios públicos y centros educativos, instalaciones deportivas, etc. Con imágenes de alta resolución es posible incluso subdividir más estas clases en función de la densidad y porte de casas y edificios.



La cartografía del uso del suelo es útil para los mismos usuarios que la ya vista de la cubierta natural, siendo común agregar a la larga lista anterior a las empresas constructoras, aseguradoras, arquitectos, urbanistas y planificadores sanitarios.

- ✓ **Detección de procesos dinámicos:** Es este otro proceso automatizado donde se aplican normalmente los sistemas de procesamiento de imágenes. Por lógica, se necesitan dos imágenes de una misma región captadas en épocas diferentes; una vez rectificadas o combinadas ambas imágenes, el sistema compara los valores de los píxeles correspondientes y determina cuáles de ellos muestran diferencias, señalando de este modo los sitios que hubieran evolucionado.

Para su presentación visual es común destacar los sitios con cambios mediante algún color brillante. Desde luego, será el intérprete quien deba definir en qué consiste y por qué se produjo el cambio, mediante el correspondiente apoyo de campo. Es muy útil para los expertos en control ambiental para rastrear procesos de deforestación, contaminación de cauces de ríos y lagos así como la aparición de vertederos. En urbanismo y catastro es muy útil para definir tendencias de desarrollo y construcciones o actividades clandestinas. Con una imagen anual es más que suficiente para detectar variaciones del tipo que fuere, con la enorme ventaja de constituir un documento objetivo e indiscutible, frente a un mapa topográfico común que, en mayor o menor grado, tiene siempre un componente subjetivo tanto del topógrafo como del dibujante.

- ✓ **Actualización de vectores cartográficos:** Las nuevas imágenes de satélites se consideran mapas ideales porque se puede disponer su permanente actualización y muestran las características del suelo y sus relaciones geográficas en documentos de tipo fotográfico. Los programas informáticos de imagen y SIG les permiten a los usuarios superponer un mapa escaneado o digitalizado a una imagen de satélite y, de este modo, detectar fallas o inexactitudes en su trazado.

Como ejemplo, en una imagen actual pueden detectarse nuevas carreteras y el programa permite añadir manualmente al mapa hasta ahora disponible, nuevos vectores o íconos

de caracteres para poner al día la cartografía regional. Este procedimiento se está popularizando cada vez más entre los organismos cartográficos como una solución mucho más económica para actualizar los mapas que enviar prolongadas campañas de topógrafos.

- ✓ **Prospección Minera:** En una primera etapa de exploración minera, las áreas a investigar son muy extensas y por lo general casi inaccesibles. Es por esta razón que se acude a la interpretación de productos obtenidos a través de sensores remotos. Las técnicas de procesamiento aplicadas a las imágenes se usan para identificar áreas anómalas de definir áreas anómalas (zonas mineralizadas) a partir de la aplicación de técnicas espectrales y estadística de la geoquímica.

Un ejemplo para la utilización de las imágenes en prospección minera: **El reconocimiento de zonas de alteración hidrotermal en una imagen de satélite.**

En imágenes TM de color normal las rocas de alteración argílica, que típicamente llevan minerales arcillosos y alunita aparecen en colores pálidos. Los minerales de Fe se caracterizan por colores rojo, amarillo y café. Las rocas de alteración propilítica con minerales típicos como clorita, calcita y antigorita (grupo de serpentina) aparecen en colores verde a púrpura. Pero no se puede reconocer claramente las zonas de alteración en las imágenes TM de color normal y de color IR.

La alunita y los minerales arcillosos caolinita, montmorillonita y illita generan espectros de reflectancia caracterizados por valores altos en la banda 5 (intervalo de longitud de onda de 1,55 a 1,75 $\mu$ m) y valores bajos en la banda 7 (intervalo de longitud de onda de 2,08 a 2,35  $\mu$ m). Una roca no alterada se caracteriza por un espectro de reflectancia de valores relativamente uniformes en las bandas 5 y 7. Calculando la razón de los valores de reflectancia correspondientes a las bandas 5 y 7 (razón TM 5/7) se obtiene valores altos para los minerales de alteración y un valor alrededor de la unidad para rocas no alteradas. De tal manera se destaca las diferencias entre los espectros de los minerales típicos de una alteración hidrotermal y una roca no alterada. Se presenta las variaciones en la razón TM 5/7 y su distribución formando ciertos rangos y asignando un distinto color a cada rango. De este modo en una imagen TM, que se basa en la razón de los valores de reflectancia correspondientes a las bandas 5 y 7 se puede distinguir las zonas compuestas de alunita, caolinita, montmorillonita y/o illita de las áreas compuestas de rocas no alteradas.

El mismo principio se aplica para distinguir rocas con un cierto contenido en minerales de Fe, que pueden indicar rocas afectadas por alteración hidrotermal y aquellas rocas, que no llevan minerales de Fe. En este caso se calcula la razón de valores de reflectancia correspondientes a las bandas 3 y 1 (razón TM 3/1). Los minerales de Fe goethita FeOOH, hematita Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y jarosita K(Fe<sup>3+</sup>)<sub>3</sub>[(OH)<sub>6</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] tienen valores elevados de reflectancia en la banda 3 y valores más bajos de reflectancia en la banda 1. Una roca sin minerales de Fe tiene valores semejantes en las bandas 3 y 1. Calculando la razón de valores de reflectancia correspondientes a las bandas 3 y 1 se obtiene razones elevadas para los minerales de Fe y una razón alrededor de la unidad para las rocas sin Fe. De tal manera se destaca las diferencias espectrales entre las rocas con y sin minerales de Fe en una imagen TM, que muestra la razón TM 3/1. Como en el caso anterior se presenta las variaciones en la razón TM 3/1 y su distribución asignando un distinto color a cada rango creado.

Las imágenes, que se basan en varias razones TM como 3/5, 3/1 y 5/7, se denomina imágenes en color compuestas de razones (color composite ratio images). En estas imágenes se puede combinar las distribuciones de rocas con un cierto contenido en minerales arcillosos y en alunita con aquellas con un cierto contenido en minerales de Fe. En comparación a las imágenes, que ilustran la distribución y variación de una sola razón TM de dos bandas en las imágenes combinadas un distinto color no representa un distinto rasgo litológico o mineralógico.

Fuente: <http://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC/TEXT/02027interpret.html>

- ✓ **Modelos tridimensionales:** En un sistema de procesamiento de imágenes o en un SIG, es posible solapar una imagen de satélite sobre un modelo digital de cotas (curvas de nivel), creando así una vista tridimensional del paisaje. Algunos programas cuentan con herramientas de visualización que le permiten al usuario elegir un punto dominante en la imagen o sobre ella y, a continuación, moverse a través de la escena 3D revisando colinas y demás accidentes del terreno en una perspectiva muy real.

La modelización en 3D, especialmente si posee funciones de recorrido y sobrevuelo, exige una PC bastante potente, con memoria más amplia que lo común. Su uso es muy frecuente en ingeniería forestal para planificar una explotación o raleo, en aviación tanto civil como militar, en geología estructural y sismología así como en ingeniería hidráulica y de carreteras. En minería es muy útil para ubicar diques de colas y relaves, trazar caminos de acceso y transporte, ubicar escombreras y campamentos, área recreativa y recuperación del paisaje.

#### ❖ **Ejemplos de aplicaciones de las imágenes satelitarias y los SIG**

- ✓ **Peligros naturales.** Dentro de la amplia gama de peligros naturales con potencial para afectar una explotación mineras y que sería posible evaluar al menos en parte, mediante el análisis de imágenes satelitales, se pueden citar : sismos, deslizamientos, aluviones y erupciones volcánicas. En la planificación de una explotación minera lo que se debe intentar es definir la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos, sin pretender fijar cuándo ni cómo.

Esta probabilidad de ocurrencia de tales eventos naturales puede ser deducida en base a la frecuencia de sucesos anteriores, interpretando los mecanismos que conducen y facilitan que ellos ocurran. De ellos, los más impredecibles son los sismos, los que no sólo revisten peligros por sí mismos sino que además pueden desencadenar un deslizamiento, el cual a su vez puede bloquear un río y provocar un aluvión.

Una forma de prever la ocurrencia de sismos es analizar la presencia de fajas o zonas de fallas activas en la región donde se ubica el yacimiento, las que son detectables con cierta facilidad en las imágenes de satélites como rasgos lineales y, la mayor parte de las veces, por el desplazamiento de las unidades litológicas presentes, de enorme significación cuando éstas han sido asignadas al Cuaternario. En muchos casos lo que se detecta es el desplazamiento de formas del relieve, incluyendo anomalías en la red de drenaje y otros rasgos conspicuos del paisaje. Desde luego, todo este análisis debe apoyarse en una encuesta sobre eventos históricos que pudieran estar registrados en la población y/o en entes oficiales.

Las evidencias de deslizamientos aparecen con gran nitidez en las imágenes satelitales, en particular si se pueden analizar en pares estereoscópicos. Estos procesos resaltan muy bien en terrenos desnudos de vegetación, aunque en el caso de fenómenos recientes es factible detectarlos en base al comportamiento de la vegetación, sea tanto de árboles altos como de tipo arbustivo. Para los estudios de riesgo deberán tomarse en cuenta las características del clima actual, por ser de directa influencia sobre la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de falda. El estudio del clima sumado al comportamiento de la cubierta vegetal pueden ayudar a definir si el colapso de laderas detectado en la imagen es fósil (inactivo) o actual (potencialmente activo).

La ocurrencia de aluviones más o menos recientes en los ríos de montaña es fácilmente detectable en las imágenes, mediante un cuidadoso análisis de las márgenes de las quebradas y los tramos donde éstas se ensanchan. Por lo general los bancos de derrame recientes están totalmente desnudos de vegetación, con abundante presencia de limos de tonos claros, los que muestran una alta reflectancia en el espectro visible.

Del mismo modo, la actividad volcánica reciente puede ser detectada con facilidad en las imágenes de satélites, pues las formas del relieve resultantes son muy características y ofrecen datos que el analista experto puede interpretar sin mayores dificultades. Es relativamente simple deducir con una imagen si el volcán en cuestión arroja lava basáltica, con poco riesgo de erupciones piroclásticas violentas, o si en cambio es de tipo

ácido con una alta posibilidad de eventos peligrosos. Las imágenes facilitan además un análisis geomorfológico de la región destinado a deducir los caminos que podrían seguir los flujos de lava o barro (“lahar”) en el caso de producirse una erupción. Resulta también de gran importancia consultar estadísticas locales y oficiales sobre periodicidad de la actividad volcánica que pudiera afectar al proyecto minero en cuestión.

- ✓ **Distribución de la población.** La identificación del nivel socio-económico de los núcleos poblacionales es muy sencilla mediante interpretación de imágenes. Centros deportivos, piletas de natación, campos de fútbol, escuelas, campos de aviación, canchas de tenis, etc. son todas muy fáciles de reconocer en una imagen tanto del TM como SPOT. Lo mismo en cuanto a barrios residenciales, hospitales, avenidas, camping y parques vecinales.
  
- ✓ **Recursos agrícolas y forestales.** Mediante la interpretación de imágenes satelizadas tanto TM como SPOT se puede detectar la presencia de cultivos actuales y, a la vez, clasificar suelos potencialmente aptos para la agricultura de base. De igual modo, es factible localizar y evaluar áreas boscosas si se diera el caso de necesitarse madera sea para entibar labores o para las diversas instalaciones.
  
- ✓ **Evaluación del impacto ambiental.** En los momentos actuales la consideración del impacto ambiental de cualquier proyecto ocupa un lugar fundamental que todo planificador debe aceptar como prioridad absoluta. Para su evaluación la primer información a manejar está relacionada con el uso de la tierra y la cubierta natural de la zona circunvecina al proyecto. Para esta tarea las imágenes de satélites constituyen una herramienta invaluable por su bajo costo y la actualidad de sus datos. Saber qué es posible y qué no se podrá hacer es indispensable para iniciar cualquier planificación.

A fin de poder ser diferenciada y así cartografiada, una superficie debe mostrar una firma espectral discernible para su identificación con un clasificador espectral, o bien una textura particular que permita su reconocimiento visual. Las masas de agua, lagos,

pantanos, embalses y ríos pueden ser mapeados con seguridad en base a imágenes de satélites en las bandas del infra-rojo (banda 3 SPOT, banda 4 MSS, bandas 4, 5 y 7 TM), cualquiera sea la época del año salvo en áreas donde se forma hielo o una cubierta de nieve.

Las áreas boscosas pueden distinguirse de las pasturas, campos arados y demás tipos de cubiertas del suelo en imágenes captadas en bandas del IR medio (banda 5 TM o equivalentes) entre inicios de primavera y otoño medio. La Tabla 1 resume los tipos de cubierta del suelo que pueden identificarse con seguridad y mapearse mediante los satélites hoy operativos:

Antes de intentar cualquier mapeo de la cubierta del suelo mediante sensores remotos, es esencial identificar los tipos de cubierta ambientalmente críticos dentro del área a estudiar, a fin de decidir si éstos son adecuados para su identificación con imágenes de satélites. Las áreas con bosques de follaje caduco antiguos y pantanos suelen ser los tipos ecológicamente más importantes y se los puede mapear rápidamente. Una vez reconocidas estas especies, la siguiente etapa es establecer el esquema de clasificación en las imágenes que resulte más efectivo para cartografiar cada tipo, así como otros rasgos también importantes como ríos, asentamientos y rutas principales, que servirán de puntos de referencia durante el estudio

Imágenes de una sola fecha o de varias fechas podrán ser empleadas según lo requiera cada circunstancia, siendo lo más probable que un estudio así se efectúe en base a imágenes con datos en la banda del IR medio del espectro, lo que lleva directamente al TM. Cuando la diferenciación de ciertos tipos de cobertura deba hacerse en base a caracteres de sus texturas, puede ser beneficioso usar imágenes con resolución espacial fina, como las pancromáticas del SPOT, complementadas con simultáneas del TM a fin de mejorarlas agregando la información espectral de éstas.



		viñas con pantallas de álamos)
Otros rasgos antrópicos áreas urbanas rutas, ferrocarriles aeropuertos minas	SPOT pancro (TM)	Los rasgos antrópicos a menudo son identificables más por su geometría que por su firma espectral y por ello exigen resolución muy fina.

**Tabla 3. Categorías de coberturas del terreno cartografiables con imágenes de satélites.**

✓ **Hidrología e hidrogeología.** Las fotografías aéreas se han utilizado en este tipo de estudios desde hace casi medio siglo, siendo reemplazadas por las imágenes de satélites por las ventajas que aportan al ser multiespectrales, permitiendo el análisis por bandas o en falso color y, muy especialmente, por contar con información en la banda del infra-rojo, en cuya longitud de onda la presencia de agua es fácilmente identificable.

Los Landsat originales con el barredor MS, debido a su resolución de 80 m solamente fueron aplicados para detectar cursos de agua importantes y rasgos lineales en las estructuras geológicas, por lo general a escala 1 : 100.000 ó más chicas, razón por la cual sólo eran útiles en las etapas iniciales de los proyectos. Al disponerse de una resolución espacial más fina con el TM (30 m) y el SPOT pancromático (10 m), fue posible utilizar escalas entre 1:20.000 y 1:50.000 con lo que la etapa de interpretación de fotografías aéreas quedó obviada.

Las imágenes de satélites pueden ser realizadas de diversos modos a fin de hacer más conspicuos aquellos rasgos que se desea analizar. Se aplican algoritmos de realce de bordes y filtros direccionales para acentuar contactos y demás caracteres lineales.

Las distintas longitudes de onda y los diferentes sensores no siempre detectan los mismos alineamientos. Cuando estos rasgos resultan de contrastes en la vegetación o suelos por lo general se ven con más claridad en las bandas del IR reflectivo (4 y 5 TM) En el SPOT pancromático, pese a su excelente resolución, es difícil diferenciar cada tipo de vegetación, por lo que no se presta mucho para el análisis de alineamientos.



Las imágenes en el IR térmico suelen ser útiles, aunque serían solamente las aeroportadas a fin de elegir el horario de toma adecuado. La presencia de un acuífero a cierta profundidad puede cambiar el comportamiento térmico del suelo, pues la zona húmeda tendrá un gradiente distinto a la del suelo seco, por lo que conviene registrar las escenas a última hora de la tarde y a primera hora de la mañana. Las imágenes captadas por la banda en el IRT de los satélites que pasan siempre a la misma hora del día (como con el TM de los Landsat), son de escasa utilidad. A su vez, las imágenes térmicas nocturnas y los pares térmicos día – noche, son captadas sólo por los sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites NOAA TIROS-N, pero tienen una resolución nadiral de 1100 metros, demasiado gruesa para fines hidrogeológicos.

- ✓ **Ubicación de embalses.** Casi todas las técnicas de análisis de imágenes satelitales antes vistas se pueden aplicar para identificar sitios adecuados para embalses. De ser posible, un embalse se debe emplazar en áreas estables, con una sismicidad conocida, libre de deslizamientos o colapsos de laderas y de la probabilidad de erupciones volcánicas. Del mismo modo, se debe tomar en consideración la densidad de fracturas (alineamientos), así como la presencia de formaciones cuya reacción ante la presencia de agua (montmorillonita, sulfatos, grafito, cloruros, etc.).

Las técnicas de un SIG pueden hacer uso de la información teledetectada sumada a la de otras fuentes, combinadas en un modelo digital del relieve, a fin de establecer los alcances de la inundación provocada por el embalse y realizar las estimaciones conducentes a adquirir tierras o indemnizar propiedades que se pudieran afectar las que, también, pueden ser cartografiadas con el apoyo de las imágenes satelitales.

Como se vio al tratar del impacto ambiental, los SIG y los sensores remotos juegan su rol en la elección entre distintas opciones sea para caminos, cañerías, campamentos, agua, etc. lo que permite al planificador combinar datos interactivos y llegar a una definición más segura.

❖ **Ventajas de utilizar imágenes de satélites**

Aún cuando existen métodos tradicionales para cartografiar una región e inventariar sus rasgos principales, como son las fotografías aéreas, las restituciones y los mapas relevados por vía terrestre, las imágenes satelitarias tienen la ventaja de ser más rápidas, mejores y más baratas: tienen una enorme capacidad de sinopsis y se pueden obtener en forma sistemática en periodos de tiempo prefijados, sin necesidad de montar operativos lentos y, muchas veces, de cierto riesgo para los técnicos encargados de ejecutarlos. Como ejemplo de estas ventajas se pueden enumerar:

- **Formato digital:** Casi todas las imágenes generadas desde satélites se pueden adquirir digitalmente, sin necesidad de realizar conversiones de datos o escaneos trabajosos. Con una preparación mínima cada imagen puede quedar lista para ser cargada directamente y aplicada al estudio deseado con un SIG, o procesada con el software que sea para los fines a que hubiere lugar. Como toda la información existente en la imagen viene en forma digital, es posible extraer los datos deseados según la especialidad del analista y la temática investigada.
- **Rapidez:** En lo que tarda un equipo topográfico en cargar la camioneta o una tripulación en diagramar el vuelo, un satélite de teledetección levanta el mapa de una región que puede ser de muy difícil acceso, o de una ciudad completa no importa su tamaño. En realidad la mayor parte del tiempo se lleva en el trámite de adquisición de la imagen, ya que los satélites son estacionarios o bien pasan por el lugar deseado en periodos relativamente breves, con la ventaja adicional de que la información puede ser seriada para estudiar fenómenos dinámicos.
- **Economía:** Para zonas extensas, y con más razón si son de acceso difícil o de climas muy severos, las imágenes de satélites resultan mucho más económicas que cualquier método terrestre. El costo medio de una imagen sin procesar no llega a 1 euro por kilómetro cuadrado.

- Sin límites: Las imágenes de satélites cubren superficie fijas, sin importar si se trata de una cordillera, lagos, océanos ni límites políticos. En particular los satélites que circundan la Tierra en órbita polar cubren todos los sitios del globo en periodos fijos y cualquiera fuese el clima del momento.
- Periodicidad: La cubierta vegetal, los ecosistemas boscosos y la intensa actividad antrópica se encuentran actualmente en permanente evolución. Cualquier relevamiento topográfico o aerofotográfico en poco tiempo queda obsoleto, como se puede apreciar en los operativos de 1960 y de 1980 realizados en San Juan, o el Plan Cordillerano de Neuquén y Mendoza, hoy son sólo útiles para fines geológicos básicos o como fuente de datos históricos. Frente a esto, se puede disponer de una imagen satelitaria un par de días después de haber sido captada, repitiéndose la toma sobre el mismo sitio en lapsos sistemáticos durante años.
- Sinopsis: En una imagen de satélite se resumen datos de numerosas especialidades, según la banda espectral o la combinación de varias bandas que resulte más adecuada a los fines buscados, cubriendo además regiones muy amplias, que pueden llegar a varios miles de kilómetros cuadrados, sin necesidad de montar mosaicos que siempre son engorrosos y que por lo común tienen errores geométricos de difícil compensación.
- Sencillez: Una imagen de satélite puede ser procesada para que resulte en un documento de tipo fotográfico, en blanco y negro, en color verdadero o en falso color, de tal modo que no es necesario ser un experto en electrónica ni un científico espacial para interpretar sus datos. Al igual que con las fotografías aéreas, cada especialista aplica su experiencia para extraer la información buscada y usa la imagen como una herramienta de notable ductilidad. Sólo se requiere una elemental base informática para operar con gran eficacia, aprovechando además la posibilidad de variar escalas, colores, bandas del espectro, ángulos de visual, etc.

❖ **Usos más comunes**

- Aplicaciones pancromáticas (tonos de gris):

Se pueden detectar, identificar y medir caracteres y objetos de la superficie según los métodos de fotointerpretación: reconocimiento directo o análisis sistemático.

Se identifica y cartografía con precisión la ubicación de los elementos del paisaje generados por acción antrópica: edificios, carreteras, vías férreas, huellas, casas, puentes, embalses, aeropuertos e infraestructura tanto urbana como rural.

Se pueden actualizar y mantener al día todos los mapas existentes.

Es fácil delimitar las masas de agua y monitorear su evolución.

Se dimensionan los núcleos urbanos para controlar su evolución y desarrollo espacial.

Se puede monitorear el uso del suelo.

Permiten generar modelos digitales del relieve-MDT (modelos en 3 dimensiones) de gran exactitud.

Permiten detectar a tiempo real procesos que involucren peligros naturales y también monitorear los que ya se encuentren en plena evolución.

- Aplicaciones multiespectrales (en colores)

Detectan, diferencian y permiten identificar rasgos de la superficie en función de aspectos más sutiles, tales como: actividad termal, presencia de mineralización, grado de humedad, especies vegetales, contenido en clorofila y/o antocianina, y otras propiedades químicas particulares.

Es posible detectar procesos estresantes en la cubierta vegetal, sea ésta natural o de cultivos.

Es posible delimitar y medir las modificaciones en los hábitats y ecosistemas naturales, siguiendo su evolución en periodos constantes.

Se puede detectar a tiempo real la presencia de procesos contaminantes tanto físicos como químicos, en masas de agua de cualquier tipo: lagos, ríos, mares, etc.

También se detecta la presencia de fenómenos o anomalías de tipo termal, vulcanismo y alteraciones del suelo y rocas vecinas.

Permiten diferenciar suelos y demás litotipos en base a parámetros específicos, como ser compactación y composición mineral.

Es muy fácil detectar y delimitar áreas pantanosas, siendo posible incluso estimar la profundidad del agua y sus variaciones aún en zonas litorales.

Se pueden detectar y controlar los procesos de salinización y/o desertificación de áreas cualquiera fuese la dificultad de su acceso

Con la información precedente es sencillo cartografiar las características de los suelos y su cubierta vegetal.

- El radar de apertura sintética :

Capta imágenes en zonas cubiertas por nubes, nieblas, tanto de día como de noche.

Permiten ubicar y seguir masas de hielo (icebergs), cartografiando incluso aspectos de los océanos tales como corrientes, olas, contaminaciones petrolíferas, temperatura, etc.

Detectan y permiten cartografiar formas del relieve, como fallas y pliegues, incluyendo procesos sísmicos y sus secuelas.

Detectan y permiten monitorear y cartografiar procesos dinámicos en la superficie terrestre aún en condiciones adversas (lluvia, nubes, horas nocturnas, etc.): evolución de cultivos, deforestación, labranzas, incendios, etc.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

Boletín CNES – “Guía Práctica para Elegir Imágenes de Satélites”, Toulouse (Francia)

Cardozo, Osvaldo Daniel y Silva, Cristian Javier (2013). Aplicaciones Urbanas de los Sensores Remotos. Revista Geográfica Digital, IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 10. Nº 20. Julio Diciembre 2013. ISSN 1668-5180 Resistencia, Chaco.

Disponible en: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo20/archivos/cardozo13.pdf>

Chuvieco, Emilio (2002). Teledetección Ambiental. Ed. Ariel, Barcelona.

Comisión Nacional de Actividades Espaciales CONAE (2014). Misiones Satelitales de Observación de la Tierra Parte I Sensores Pasivos Multiespectrales. Curso: Software de Procesamiento de Imágenes (SoPI).

Fernández-Coppel, Ignacio Alonso y Herrero Llorente, Eliecer (2001) Análisis visual de imágenes obtenidas el sensor ETM+. Satélite Landsat. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Palencia, Universidad de Valladolid. Disponible en: <http://www.cartoeduca.cl/biblioteca-digital.html>

Labrador García, Mauricio; Évora Brondo, Juan Antonio; Arbelo Pérez, Manuel (2012). Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio. Proyecto SATELMAC, Programa de Cooperación Transnacional Madeira Azores-Canarias -2007-2013 (PCT-MAC). Edita: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias. Disponible en: <http://mappinggis.com/2012/07/libro-sobre-satelites-de-teledeteccion-para-la-gestion-del-territorio/>

Mather, Paul M. (2004). Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introducción. Boston University. Ed. John Wiley & Sons, Ltd. Disponible en: [https://books.google.com.ar/books?id=CzKlXxxPPfUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbgbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ar/books?id=CzKlXxxPPfUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbgbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Miraglia, Marina; Flores, Andrea Pamela; Rivarola y Benitez, Marcela; D´Liberis, Marcela; Galván, Luciana; Natale, Daniela; Rodríguez, Mónica (2010). Manual de Cartografía, Teleobservación y Sistemas de Información Geográfica. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Instituto del Conurbano. Universidad de General Sarmiento, Buenos Aires. Disponible en:

[http://www.ungs.edu.ar/cm/uploaded\\_files/publicaciones/328\\_PE21-](http://www.ungs.edu.ar/cm/uploaded_files/publicaciones/328_PE21-)

[ManualDeCartografia.pdf](#)

### **Acceso a imágenes de satélite gratuitas**

- <http://www.argentina500k.gob.ar/> (Imágenes de satélites y mapas topográficos a escala 1:500.000)
- <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa> (MDE - SRTM)
- <http://www.conae.gov.ar/index.php/espanol/catalogos/catalogo-de-imagenes> (Catálogo de imágenes de la Comisión Nacional Actividades Espaciales)
- <http://www.inpe.br/> (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales – Brasil)
- <http://glcf.umd.edu/data/> (Global Land Cover Facility – Universidad de Maryland – EEUU)
- <http://earthexplorer.usgs.gov/>

### **Enlaces de interés**

[http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos\\_tecnicos\\_de\\_imagenes\\_landsat.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf)