

# PROCESAMIENTO DIGITAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICACIÓN PRÁCTICA CON CARTOGRAFÍA E IMÁGENES DE SATÉLITE

## III. TELEDETECCIÓN

*“Qué pequeño se ve el mundo contemplándolo desde arriba”*

*Confucio*



[www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar)

*... acerca de la visión remota de nuestro territorio<sup>1</sup>...*

### 1. Introducción a la Teledetección

Cabe preguntarse qué ventajas tiene el utilizar imágenes de satélite cuando existen muchas otras fuentes de datos geográficos, como fotografías aéreas, estudios sobre el terreno y mapas sobre papel.

Para la mayoría de las aplicaciones, la respuesta más sencilla es que las imágenes de satélite son más rápidas, mejores y más económicas. Esto es cierto, ya que la imagen de satélite es con frecuencia el medio más práctico para adquirir información geográfica aprovechable.

Consideremos las ventajas de dichas imágenes:

- **Digital:** Casi todas las imágenes procedentes de satélite se adquieren digitalmente. Esto significa que no hay necesidad de efectuar conversiones de datos o digitalizaciones onerosas. Con una preparación mínima, las imágenes quedan listas para ser cargadas directamente y utilizadas inmediatamente con un sistema de información geográfica (SIG), sistema de tratamiento de imágenes o sistema informático de cartografía. Dada su naturaleza digital, las imágenes de satélite se procesan y realzan para extraer de ellas sutiles detalles e informaciones que otras fuentes no detectarían.
- **Rápido:** En lo que tarda un equipo topográfico en descargar su material o un piloto en realizar las comprobaciones previas al vuelo fotográfico, un satélite de

<sup>1</sup> Basado en: SPOT, 1999; Chuvieco, 2000.-

teledetección levanta el mapa de un vasto bosque o el de una ciudad entera. Además, dado que los satélites se encuentran en órbitas estables, raramente tardarán más de una semana en adquirir imágenes de la zona que le interesa. Apenas si se necesita planificación: si se hace una solicitud hoy, la adquisición se podrá hacer mañana, la próxima semana o dentro de tres meses, dependiendo de su programa.

- **Económico:** Para zonas extensas, las imágenes de satélite resultan normalmente más económicas que la fotografía aérea o las campañas topográficas sobre el terreno. El costo medio de una imagen de satélite sin procesar es muy inferior a un euro/dólar por kilómetro cuadrado.
- **Global:** Los satélites no están limitados por fronteras políticas ni geográficas. Los satélites comerciales de teledetección se hallan en órbitas polares que permiten sobrevolar todas las zonas del planeta. Un satélite de teledetección obtendrá una imagen de la zona que le interesa, independientemente de que esté en la cima de una montaña o en medio del océano.

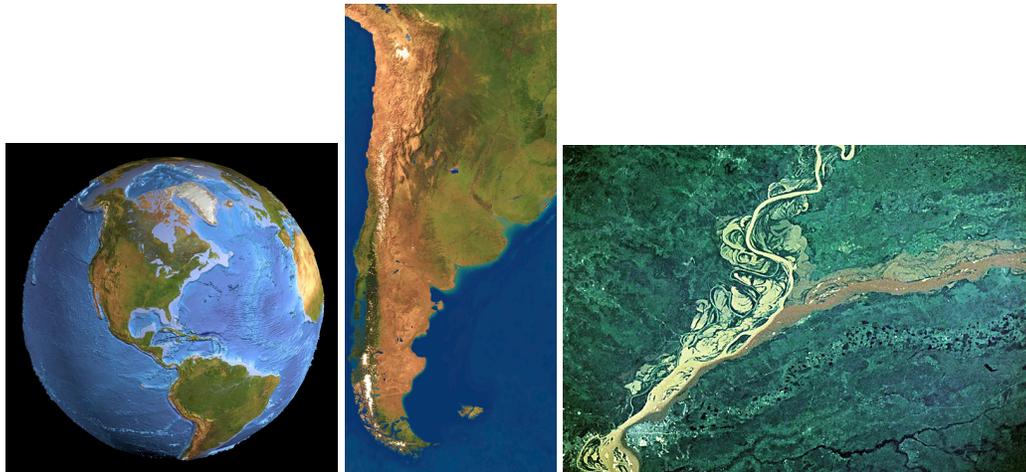


Figura III.1. Cobertura satelital: Global (izq.), Regional (centro), Local (der.).

Fuente: La Tierra desde el Satélite, 2000.

- **Actualizado:** En el mundo actual, en rápida transformación, necesitamos información actualizada para tomar decisiones críticas para nuestros negocios. Cuando se imprimen, los mapas ya tienen meses o años. Sin embargo, puede disponer de una imagen de satélite un par de días después de su toma. De hecho, el mapa más actualizado que se puede tener es una imagen.
- **Sinóptico:** Los satélites de teledetección captan, en una sola imagen, detalles de la cubierta del suelo, carreteras e infraestructuras principales que se extienden por cientos o incluso miles de kilómetros cuadrados.
- **Preciso:** La cámara no engaña y tampoco lo hace un sensor de satélite. Dado que una imagen de satélite en bruto, sin procesar, se crea sin intervención humana, la información que contiene es una representación precisa, objetiva e imparcial de los objetos y detalles de la superficie terrestre. Una imagen de satélite facilita sin duda la tarea del cartógrafo y del equipo de campo.

- **Flexible:** El tratamiento y la extracción de información de las imágenes de satélite pueden ser tan complicados o sencillos como se desee. No hace falta ser un científico espacial para observar imágenes de satélite e identificar una casa y un río crecido por la lluvia en sus proximidades, comprendiendo la relación entre ambos. De igual modo, cualquiera puede sacar datos más complejos y aprender a combinar las imágenes con miles de datos geográficos distintos fácilmente obtenidos con adecuada capacitación en el manejo de los programas informáticos de aplicaciones geográficas.

## 2. Bases conceptuales de la Teledetección

Una definición sencilla de **Teledetección**, pero que a su vez deja bien en claro su concepto, es la siguiente: "La Teledetección es una técnica que utiliza de sensores para la adquisición de informaciones sobre objetos o fenómenos a distancia, es decir, sin que haya ningún tipo de contacto directo entre el sensor y los objetos".

Por lo tanto, los tres elementos que componen un sistema de Teledetección son:

- **Blanco u Objeto.** Es el elemento presente en la superficie terrestre al momento de adquirirse la imagen.
- **Sensor.** Es un equipo capaz de coleccionar la energía proveniente del objeto, convirtiéndola en una señal posible de ser registrada y presentada en forma adecuada para la extracción de informaciones.
- **Fuente de Energía.** En la mayoría de las veces se refiere a la energía electromagnética o radiación electromagnética proveniente del sol.

A continuación la Figura III.2 muestra los tres elementos que conforman un Sistema de Teledetección, esto es, la fuente de energía representada por el sol, el sensor a bordo de un satélite y los elementos sobre la superficie terrestre.

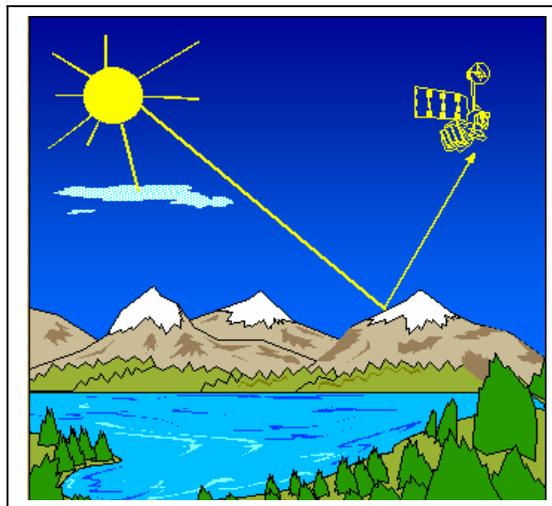


Figura III.2. Elementos de un Sistema de Teledetección. Fuente: Chuvieco, 1996.

## 2.1. Radiación electromagnética.

La radiación electromagnética está constituida por diversas características físicas (intensidad, longitud de onda, frecuencia, energía, polarización). Independientemente de esas características, todas las ondas electromagnéticas son esencialmente idénticas pudiendo propagarse en el vacío, es decir, no precisan de un medio material para desplazarse. Esto representa una propiedad muy importante en el proceso de transferencia de energía.

A continuación, la Figura III.3 muestra una onda electromagnética constituida por un campo eléctrico y un campo magnético, los cuales son perpendiculares entre sí y ambos oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda, así el campo eléctrico genera un campo magnético y el campo magnético genera un campo eléctrico.

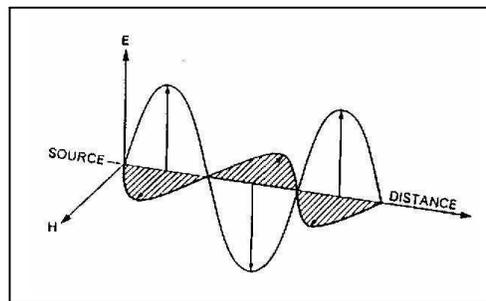


Figura III.3. Onda electromagnética. Fuente: Campbell, 1996.

La radiación electromagnética es subdividida arbitrariamente en fajas, representando regiones que poseen características particulares en términos de los procesos físicos o de los mecanismos físicos de detección de esta energía. Las principales fajas del espectro electromagnético pueden ser observadas en la Figura III.4.

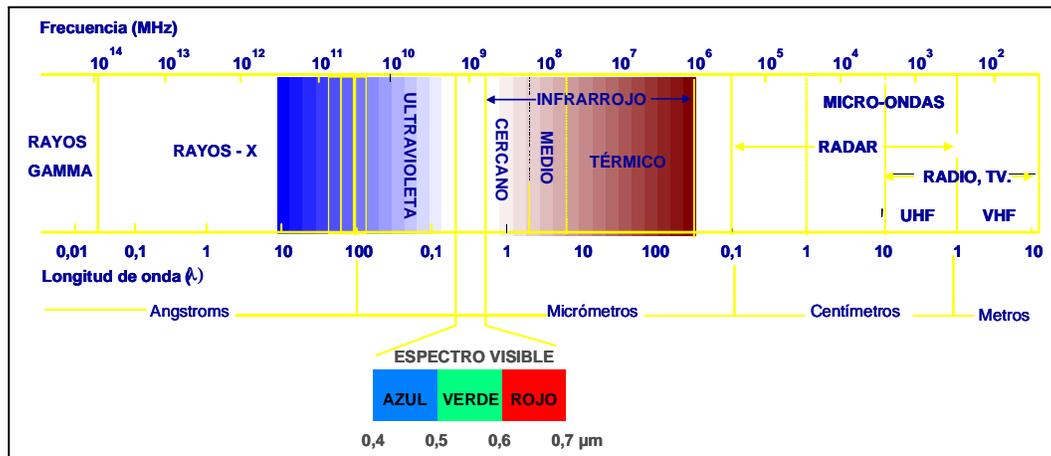


Figura III.4. Espectro electromagnético. Fuente: Chuvieco 1996.

En función de la región del espectro considerada, es común trabajar con energía (electro-volts), longitudes de onda (micrómetro-  $\mu\text{m}$ ), o frecuencia (hertz-Hz). Por ejemplo: en la región de los rayos gama y cósmicos, se usa energía; en la región entre ultravioleta e infrarrojo, se usa longitud de onda; y en la región entre microondas y radio, se utiliza frecuencia.

Un flujo de radiación electromagnética que se propaga por el espacio, al incidir sobre la superficie de un objeto, puede ser reflejado, absorbido o emitido por dicha superficie (Figura III.5).

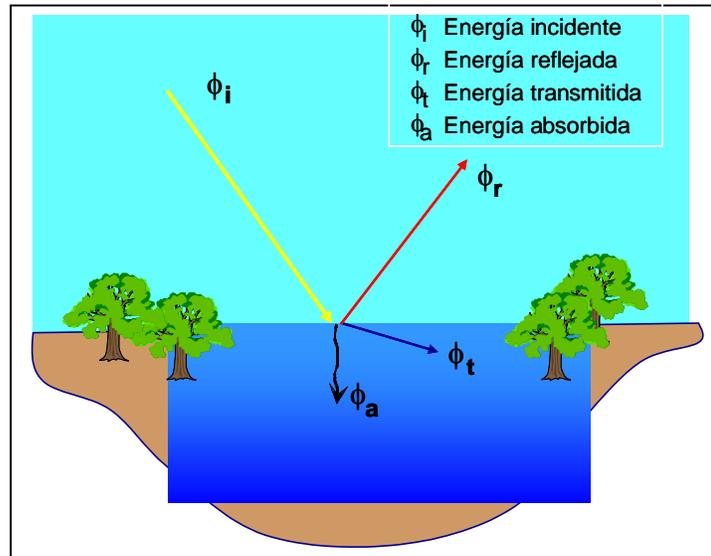


Figura III.5. Transformación del flujo de energía incidente. Fuente: Chuvieco, 1996.

El tipo de interacción que se produzca dependerá principalmente de las propiedades físico-químicas del elemento de la superficie terrestre considerado.

A continuación, son comentadas brevemente las franjas del espectro electromagnético más utilizadas por los sensores remotos:

- **Ultravioleta.** Comprende la faja del espectro de  $0,01 \mu\text{m}$  a  $0,4 \mu\text{m}$ . Las películas fotográficas son más sensibles a este tipo de radiación que a la luz visible. Esta faja es empleada para detectar minerales y polución marina. El principal inconveniente en el uso de esta región del espectro, es la fuerte atenuación atmosférica.
- **Visible.** Se la denomina de esta manera debido a que es la radiación electromagnética capaz de producir la sensación de visión en el ojo humano. Esta franja del espectro presenta una pequeña variación de longitudes de onda de  $0,38 \mu\text{m}$  a  $0,75 \mu\text{m}$ ). Es muy importante para la Teledetección porque las imágenes obtenidas en esta franja generalmente presentan una gran correlación con la experiencia visual del intérprete.

- **Infrarrojo.** Fundamental para la Teledetección. Involucra la radiación con longitudes de onda de 0,75  $\mu\text{m}$  a 1,0 mm (milímetro). La radiación infrarroja es fácilmente absorbida por la mayoría de las sustancias produciendo un efecto de aumento de la temperatura.
- **Microondas.** Se sitúan en la faja de 1 mm a 30 cm. En esta faja de longitudes de onda es posible construir sensores capaces de producir su propia radiación electromagnética los cuales se denominan Radares. La mínima atenuación de este tipo de radiación por la atmósfera o por las nubes, vuelven propicio el uso de los sensores Radares en cualquier condición climática.

## 2.2. Datos u objetos de la superficie terrestre.

Una muestra de cómo reflejan la energía en el espectro visible y el infrarrojo algunos materiales dominantes de la superficie de la Tierra, tales como el suelo, la vegetación y el agua, es presentado en la Figura III.6. Dado que cada una de estas curvas es característica del elemento indicado y permite identificarlo, se las suele llamar firmas espectrales (CONAE, 2000).

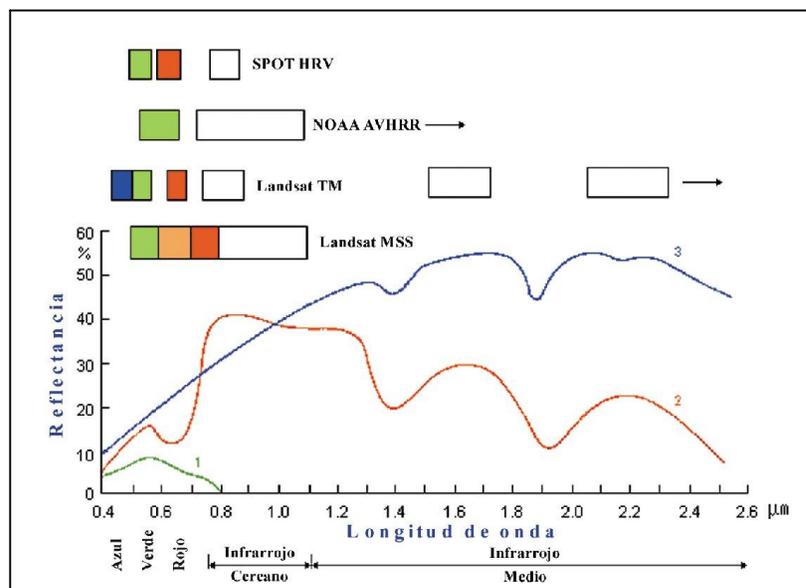


Figura III.6. Respuesta de objetos de la superficie terrestre a la energía incidente.

1-Agua clara, 2-Vegetación, 3-Suelos. Fuente: CONAE.

- **Respuesta de la vegetación.** Cuando se va a realizar un análisis de vegetación a través de imágenes de Teledetección hay que tener en cuenta aspectos como la morfología de la cubierta, estado fenológico, proporción de sombras, ubicación en el relieve y su asociación con otras cubiertas o especies.
- **Repuesta del suelo.** La misma está influenciada por características, tales como, la composición química, textura, estructura, contenido de humedad y contenido de materia orgánica. La presencia de estas dos últimas reduce la reflectividad del suelo.
- **Repuesta del agua.** La misma varía según la longitud de onda considerada, dentro del espectro visible la reflectividad es baja y es influenciada por el contenido de sedimentos y por la profundidad del cuerpo de agua.

En el infrarrojo el agua tiende a absorber toda la energía incidente observándose oscura en la imagen. En el caso de las microondas, éstas son reflejadas especularmente si el agua está tranquila, cuando hay turbulencia u oleajes la energía es reflejada en varias direcciones.

### 2.3. Tipos de Sensores.

Los sensores pueden ser clasificados en función de la fuente de energía o en función del tipo de producto que producen.

#### a) En función de la fuente de energía:

**Pasivos:** No poseen una fuente propia de radiación. Miden la radiación solar reflejada o emitida por los objetos. Por ejemplo los sistemas fotográficos.

**Activos:** Poseen su propia fuente de radiación electromagnética. Trabajan en fajas correspondientes a bajas frecuencias. Por ejemplo los radares.

#### b) En función del tipo de producto:

**No producen imágenes:** No generan una imagen de la superficie observada. Por ejemplo, los radiómetros (salida en dígitos o gráficos) y los espectro-radiómetros (firma espectral). Sin embargo, son muy importantes para la adquisición de informaciones minuciosas sobre el comportamiento espectral de los objetos de la superficie terrestre.

**Producen imágenes:** Dan como resultado una imagen de la superficie observada. Suministran informaciones sobre la variación espacial de la respuesta espectral de la superficie observada. A su vez se pueden subdividir en:

- Sistema electro-óptico ("scanning systems") por ejemplo: ETM+, TM y MSS (Landsat), MMRS (Sac-C), HRV (SPOT).

- Sistema fotográfico: emplean un filme analógico para registrar la escena.

## 2.4. Características básicas sobre órbitas y coberturas de los satélites.

Tanto los sensores como los satélites que los transportan poseen una serie de características que influyen en su capacidad para captar imágenes. Algunas de estas características serán más beneficiosas que otras para una aplicación específica de interés. A continuación se brindan algunas explicaciones y términos comúnmente utilizados para describir las características de los satélites y los sensores.

- **Órbita polar:** todos los satélites civiles de teledetección circundan el globo en órbitas cuasipolares moviéndose en sentido ligeramente nordeste-sudoeste en órbitas descendentes que los llevan directamente sobre los polos en cada órbita. Los satélites orbitan a velocidades y altitudes constantes según cronogramas definidos. Esto es importante, puesto que de este modo los controladores de tierra no pueden acelerar el satélite o trasladarlo a la zona de su elección en el momento en que se desea.
- **Órbitas ascendentes/descendentes:** Un satélite electro-óptico sólo capta imágenes en sus órbitas descendentes porque están sincronizados para que el satélite siempre se encuentre descendiendo sobre el lado iluminado de la Tierra y ascendiendo por el oscuro. Los satélites dotados de radar de apertura sintética (SAR) captan imágenes en ambas fases de sus órbitas.

### Las órbitas de los satélites

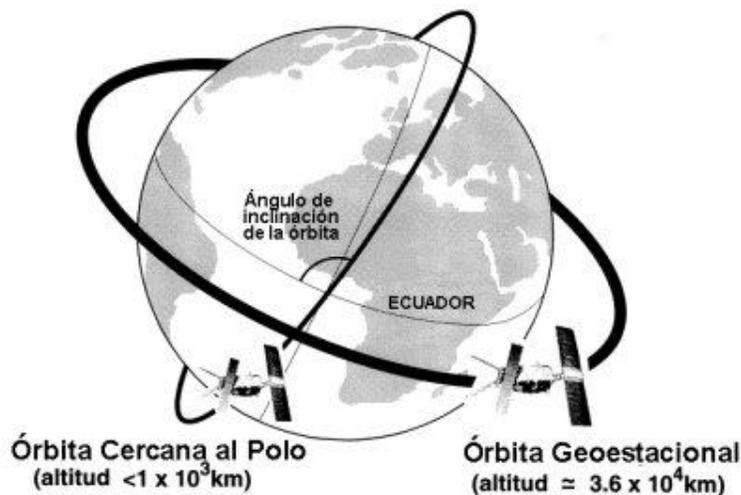


Figura III.7. Trayectorias de las órbitas de los satélites (Fuente: UNIGIS, 2000).

- **Geometría de visión:** Los sensores electro-ópticos y SAR disponen de una geometría de visión fija o graduable. Si el sensor funciona con un ángulo de visión fijo o rígido (llamado también ángulo de incidencia), apunta exactamente hacia el mismo punto bajo la “huella del satélite”. Un sensor graduable o

controlable gira de lado a lado o de atrás a adelante captando imágenes fuera y dentro de la huella del satélite. La geometría de visión variable es de gran importancia porque determina la capacidad del satélite para captar imágenes repetidas y estereoscópicas.

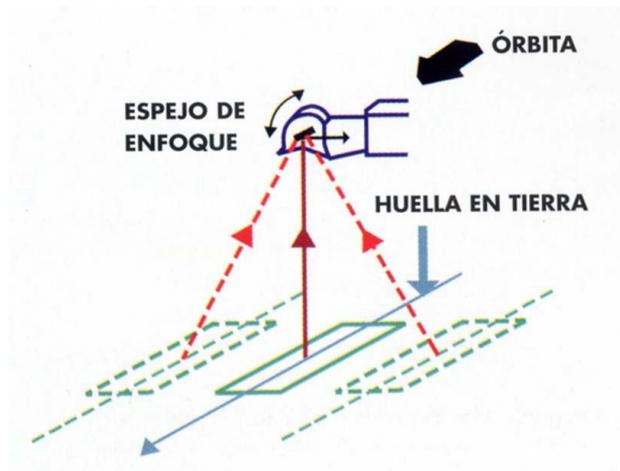


Figura III.8. Vista extranadiral: los satélites dotados de ángulos de visión graduables no necesitan pasar por encima de una zona para captar una imagen de ella (Fuente: Spot Image, 1999).

- **Ciclo de pasos sucesivos:** Como se ha dicho, un satélite se mueve en una órbita predeterminada que le hace pasar exactamente sobre los mismos puntos de la Tierra una vez cada determinado número de días. El número de días transcurridos entre pasos se llama ciclo de pasos sucesivos (revisit cycle / ciclo de revisita). No obstante, un sensor dotado de ángulo de visión variable capta imágenes con mayor frecuencia que lo que permitiría su ciclo de pasos sucesivos. Esto se debe a que es capaz de captar imágenes sobre una zona por la que, de lo contrario, no hubiese vuelto a pasar hasta transcurridos varios días. Esta capacidad de repetición es clave para toda aplicación que exija la observación frecuente de situaciones muy dinámicas, tales como inundaciones, incendios, huracanes, derrumbes y deslizamiento en masas, u otros desastres por fenómenos naturales.
- **Adquisición estereoscópica:** Al igual que los aviones, los satélites dotados de geometría de visión variable pueden captar pares de imágenes solapadas. Si se propone crear modelos de elevación digitales o realizar cualquier tipo de análisis tridimensional de una zona, entonces se necesitará contar con imágenes estereoscópicas.

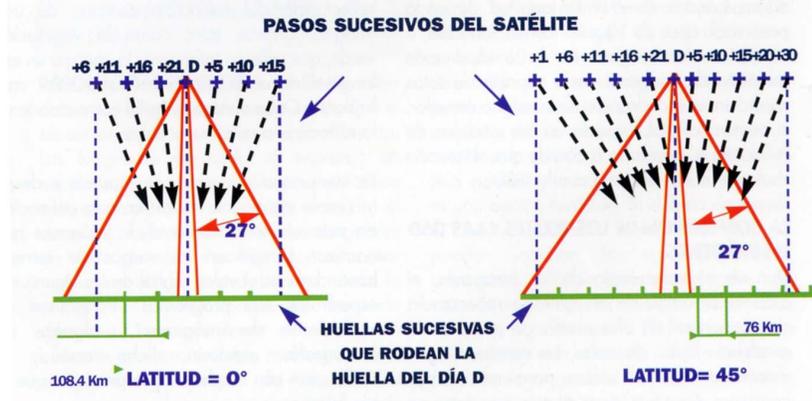


Figura III.9. Capacidad de pasos sucesivos del satélite. (Fuente: Spot Image, 1999).

- **Ancho de franja o cobertura:** Al igual que la lente de una cámara, los sensores de los satélites poseen un campo visual o área máxima que pueden abarcar para cualquier imagen. En los satélites, el término de ancho de franja o cobertura se refiere a la distancia de un lado a otro de su campo visual.

Es importante tener esto en cuenta, dado que el campo visual de una cámara se reduce cuando se utiliza un acercamiento (zoom), lo que ocurre también en los satélites. Una imagen de satélite con alta resolución espacial (es decir, en mayor detalle) abarca una zona geográfica pequeña. El ancho de franja o cobertura puede oscilar entre unos pocos kilómetros, para sensores de alta resolución, hasta miles de kilómetros para los de baja resolución. La elección entre ambos dependerá del tamaño del área de interés.

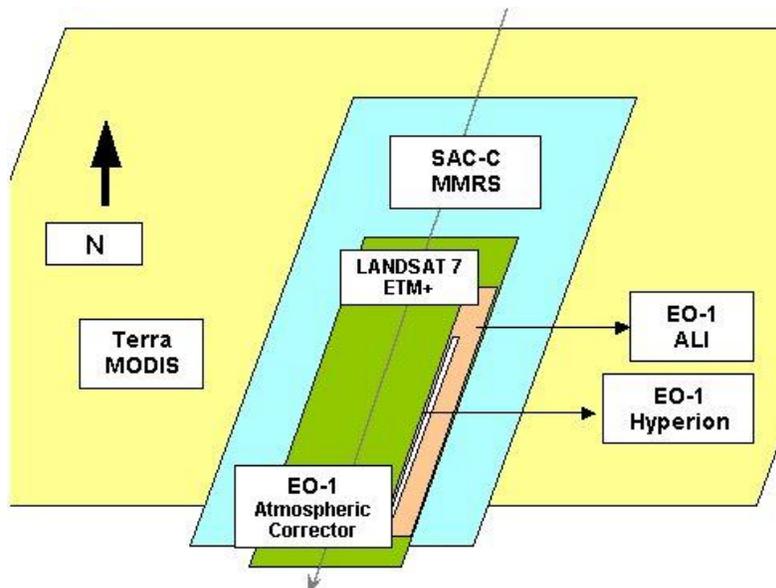


Figura III.10. Ancho de cobertura de los satélites Sac-C, Landsat, EO-1 y Terra, que integran la Constelación Matutina de Satélites de Observación de la Tierra (Fuente: CONAE, 2000).

- **Disponibilidad de cobertura:** Los satélites de órbita polar pueden captar imágenes de cualquier punto de la Tierra, excepto de los propios polos, a menos que el sensor posea geometría de visión graduable que le permita apuntar para recoger tales datos.
- **Órbita heliosincrónica:** La mayoría de los satélites electro-ópticos están sincronizados con el sol de forma que efectúan pasos repetidos sobre una zona determinada a la misma hora del día. Esto garantiza que el ángulo de incidencia solar y las sombras sean similares en varias imágenes captadas sobre la misma zona de órbitas diferentes. La mayor parte de las órbitas están sincronizadas con los cruces ecuatoriales de media mañana, de modo que la adquisición de las imágenes tiene lugar cuando el ángulo de incidencia solar es bajo y las sombras resultantes revelan el relieve del terreno.

### 3. ¿Cómo elegir imágenes de satélite?.

(Fuente: Spot Image, 1999)

#### 3.1. Elegir imágenes de satélite según el sensor adecuado.

Entender la diferencia entre información espacial y espectral es muy importante porque se trata del primer paso para elegir entre los dos tipos fundamentales de imágenes de satélite:

- (i) pancromáticas
- (ii) multiespectrales

En la mayoría de las ocasiones ésta será la primera decisión al evaluar los diversos tipos de imágenes y productos.

Las imágenes pancromáticas (i) se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (con frecuencia, tales porciones del espectro reciben el nombre de bandas espectrales). Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar la parte visible y de infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro.

Las imágenes multiespectrales (ii) se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir energía roja reflejada dentro de la parte visible del espectro mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Es posible incluso que dos series de detectores midan la energía en dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos distintos valores de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites de teledetección multiespectrales de hoy en día miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas que va de tres a siete bandas.



Figura III.11. Imagen pancromática (izq.); Imagen multiespectral (der.).

Las imágenes hiperespectrales deben ser consideradas aquí porque es este un término que se utiliza cada vez con más profusión. Se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos de bandas. La teoría en la que se apoya la detección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas. Actualmente ya hay sensores hiperespectrales en funcionamiento a bordo de satélites comerciales.

Todas las referencias que hemos hecho sobre sistemas de imágenes pancromáticas y multiespectrales se ciñen a los llamados sensores electro-ópticos, que son el tipo más corriente que llevan a bordo los satélites de teledetección. No obstante, existe otro sensor, llamado radar de apertura sintética (SAR) que es cada vez más conocido por los usuarios.

Los sensores electro-ópticos son instrumentos pasivos de captación de imágenes que miden la energía electromagnética proveniente, sobre todo, del sol y que rebota en la superficie terrestre. Se llaman pasivos porque no disponen, para transmitir, de su propia fuente de energía, por lo que sólo funcionan con luz diurna. (La única excepción a lo anterior es un sensor electro-óptico que mide la radiación térmica infrarroja, que no es reflejo del sol sino de fuentes generadoras tales como centrales eléctricas, entre otros).

Los sensores SAR son sistemas activos de imágenes, lo cual significa que transmiten una señal de radar en la parte del espectro correspondiente a las microondas y miden la intensidad y otras características de la señal de retorno reflejada desde la superficie terrestre. Las imágenes SAR contienen información que difiere, en distintos aspectos, de la información espacial y espectral de las imágenes obtenidas por medios electro-ópticos. Dado que los SAR son activos y funcionan en longitudes de onda superiores a estos últimos, captan imágenes a través de las nubes, niebla, brumas y oscuridad.

Las imágenes SAR tienen algunas aplicaciones comunes con los sistemas electro-ópticos, pero se adaptan mejor que éstos a determinados usos específicos. No es casual que proliferen las aplicaciones SAR en las nubosas regiones ecuatoriales, litorales brumosos y zonas polares con frecuencia oscuras.

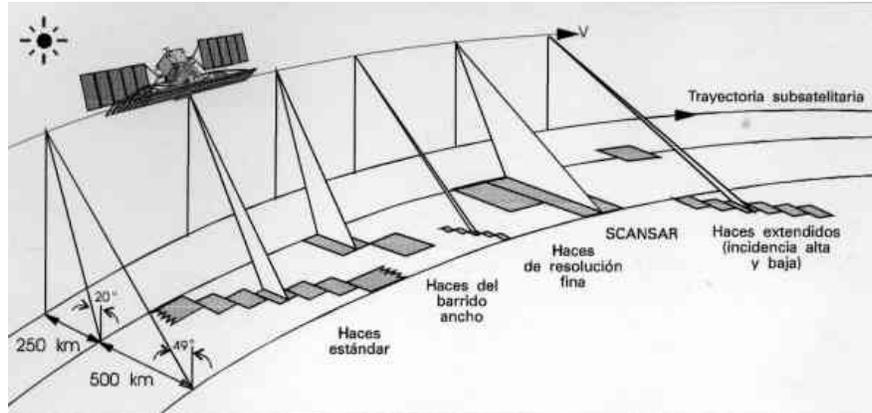


Figura III.12. Modo de operación del Satélite Canadiense (Fuente: Radarsat, 2000).

La elección de uno de los muchos tipos de sensores es una de las decisiones más importantes que habrá que tomar porque condiciona casi todas las elecciones posteriores de productos. La información que se da a continuación ayudará a elegir el tipo de sensor que mejor se adapte a una aplicación específica.

<b>Guía para elegir imágenes a partir del sensor adecuado</b> (Fuente: Spot Image, 1999)	
Aplicaciones pancromáticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizan, identifican y miden accidentes superficiales y objetos, principalmente, por su apariencia física, es decir, forma, tamaño, color y orientación.</li> <li>• Identifican y cartografían con precisión la situación de los elementos generados por la acción del hombre, como edificios, carreteras, veredas, casas, equipamientos de servicios públicos, infraestructura urbana, aeropuertos y vehículos.</li> <li>• Actualizan las características físicas de los mapas existentes.</li> <li>• Trazan los límites entre tierra y agua.</li> <li>• Identifican y cuantifican el crecimiento y desarrollo urbano.</li> <li>• Permiten generar modelos digitales del terreno de gran exactitud.</li> <li>• Catalogan el uso del suelo.</li> </ul>
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubican e identifican rasgos de la superficie en función de aspectos menos evidentes, tales como contenido de mineral, grado de humedad, especies de vegetación, contenido de clorofila o propiedades químicas.</li> <li>• Detectan estrés en la vegetación, cultivos o árboles.</li> <li>• Delimitan y miden las modificaciones en los hábitat y ecosistemas naturales.</li> </ul>

multiespectrales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinguen las rocas superficiales y el suelo por su composición y consolidación.</li> <li>• Delimitan los terrenos pantanosos.</li> <li>• Estiman la profundidad del agua en zonas litorales.</li> <li>• Catalogan la cubierta terrestre.</li> </ul>
Aplicaciones del radar de apertura sintética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captan imágenes en zonas frecuentemente cubiertas por nubes, nieblas o inmersas en constante oscuridad.</li> <li>• Localizan icebergs y hielo marino, cartografían otros estados de la superficie oceánica, como corrientes, olas, y contaminación petrolífera.</li> <li>• Cartografían aspectos del terreno muy sutiles, fallas y pliegues.</li> <li>• Permiten detectar y cartografiar cambios en la superficie terrestre debidos por ejemplo al crecimiento de la vegetación, a variaciones de la humedad del suelo, actividades agrícolas o forestales (labranza, deforestación, etc.), o incluso debidos a movimientos sísmicos (fallas, temblores, etc.).</li> </ul>
Aplicaciones aerofotográficas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartografían rasgos superficiales inferiores a un metro cuadrado.</li> <li>• Cartografían zonas inferiores a mil kilómetros cuadrados.</li> <li>• Cartografiado de precisión cronométrica para observar inmediatamente catástrofes por fenómenos naturales.</li> </ul>

### 3.2. Elegir imágenes de satélite según la resolución espacial adecuada.

Los términos raster y vectorial se emplean con frecuencia para describir los datos geoespaciales. Las imágenes digitales de satélite son conjuntos de datos rasterizados, lo que significa sencillamente que la imagen está comprimida en numerosos y diminutos elementos de imagen o *píxeles* que cubren la totalidad del área de la escena. Los conjuntos de datos vectoriales, por contraste, son mucho más abstractos y están compuestos por puntos, líneas y polígonos.

Por la propia naturaleza del proceso digital, las imágenes de satélite son del tipo raster. Los sensores electro-ópticos exploran la Tierra efectuando medidas de la energía electromagnética reflejada por miles de áreas terrestres definidas con exactitud. Tales áreas poseen una dimensión, llamada distancia de muestreo de tierra o del terreno y se corresponden con la resolución espacial y el tamaño de los píxeles.

Por ejemplo, si un sensor tiene una distancia de muestreo del terreno de 10 metros, ello significa que en su franja de imagen mide la reflectancia sobre una superficie de 10 x 10 metros. Si se trata de un sensor multiespectral, mide la reflectancia en varias bandas de distinta longitud de onda para cada área de 10 x 10 metros. Un píxel, o elemento de imagen, es la unidad más pequeña de imagen creada a partir de estas mediciones. A cada píxel se le asigna un valor, o número digital, basado en las medidas de reflectancia. Esta es la razón por la cual el tamaño del píxel se relaciona con la distancia de muestreo en el terreno.

Algunos términos relativos a las imágenes son:

- **Resolución espacial:** La resolución espacial se refiere al tamaño del objeto o característica del terreno de menor tamaño que se puede distinguir en una imagen. Se trata de una de las características más importantes que hay que considerar a la hora de elegir imágenes, porque determina de forma directa

qué rasgos del terreno pueden cartografiarse. Esto es muy importante para evaluar los costos del proyecto dado que, generalmente, cuanto más detallada es una imagen más costosa resulta por unidad de superficie.

- **Resolución espectral:** este término define las longitudes de onda en las que el sensor es capaz de medir energía reflejada. Las longitudes de onda se expresan en micras o micrones (um). El número de bandas se utiliza así mismo para explicar cómo mide el sistema la reflectancia de varias longitudes de onda distintas. Por ejemplo, un sensor multispectral de siete bandas mide la energía en siete longitudes de onda diferentes. Hay que tener en cuenta, no obstante, que una imagen multispectral se compone casi siempre de tres bandas solamente porque una imagen sólo puede crearse adicionando los tres colores fundamentales o primarios (azul, verde y rojo).
- **Precisión:** Es esta una característica de la imagen que, con frecuencia, se pasa por alto y puede ser crítica para las aplicaciones cartográficas. Se refiere a la certeza con la que un objeto dado se encontrará sobre el terreno donde aparece en la imagen. Normalmente, la precisión se expresa en píxeles, que se pueden convertir fácilmente en metros. Por ejemplo, una imagen con resolución de 10 metros puede tener una precisión de un píxel, lo que significa que un objeto de dicha imagen puede estar descolocado 10 metros en cualquier dirección. Si bien esto puede parecer de gran inexactitud, no debe olvidarse que las imágenes son con frecuencia la fuente de información más precisa en comparación con ciertos mapas, aerofotografías y bases de datos.
- **Tamaño de la escena/cobertura:** Cada sensor del satélite posee un ancho de franja o campo de visión que determina el tamaño de una escena de imagen. El sensor recoge miles de medidas de reflectancia a lo largo de esta franja, pero este caudal de mediciones se divide habitualmente en escenas de dimensiones cuadradas. De este modo, si el ancho de la franja es de 60 kilómetros, el tamaño estándar de la imagen de toda la escena será de 60 x 60 kilómetros. La mayoría de las agencias distribuidoras de imágenes satelitales pueden “cortar” una subescena más pequeña de la escena total, tal como un cuarto o la mitad. Si el área de interés es muy pequeña, la obtención de una subescena es una opción rentable. Si el área de interés es mayor que una escena estándar, se pueden solicitar dos o más escenas adyacentes y requerir la generación de un mosaico de imágenes (es decir, se juntan como “cosiéndolas”). El propio usuario puede hacer esta operación si dispone de un paquete de programas de procesamiento de imágenes.

Un factor de importancia que hay que tomar en consideración cuando se buscan imágenes es la relación que existe entre el tamaño de la escena y la resolución espacial. Imaginemos una cámara con teleobjetivo, a medida que éste enfoca rasgos de pequeño tamaño, el campo visual disminuye. Esto se aplica también a las imágenes de satélite. Una gran resolución espacial, digamos un metro, se corresponde con un área de cobertura pequeña (y archivos digitales de gran tamaño).

Al escoger una imagen, se deben equilibrar estas dos características de forma que la resolución espacial sea lo bastante alta como para distinguir los objetos que se necesita identificar. No obstante, el tamaño de la escena ha de ser lo suficientemente

ancho como para colocar en ella dichos objetos en su perspectiva adecuada. Dicho de otro modo: no debemos dejar que los árboles nos impidan ver el bosque.



Figura III.13. Vista de Buenos Aires. Las imágenes de resolución más gruesa (baja resolución, desde el satélite Landsat Izq.) ofrecen una extensa cobertura regional, mientras que la resolución más fina de contexto (alta resolución, avión aerofotográfico Der.) brinda los detalles.

<b>Guía para elegir la resolución espacial adecuada</b>	
(Fuente: Spot Image, 1999)	
1 metro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifica y cartografía rasgos a escala humana superiores a un metro cuadrado, tales como tapas de alcantarilla, bancos, automóviles, cocheras de autobuses, carriles de autopista, aceras, equipamiento de servicios públicos, cercas, árboles y arbustos.</li> <li>• Identifica características de muchos objetos mencionados.</li> <li>• Detecta pequeñas zonas de estrés en parcelas agrícolas o arboledadas.</li> <li>• Localiza y cartografía ampliaciones de casas, carreteras, edificios, patios y pequeñas explotaciones agrícolas y ganaderas.</li> <li>• Diferencia distintos tipos de edificios y casas.</li> </ul>
10 metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubica y cartografía edificios, predios, carreteras, límites de propiedad, campos de deporte, granjas y calles laterales.</li> <li>• Diferencia entre parcelas cultivadas y sin cultivar en función de la salud vegetativa relativa.</li> <li>• Facilita tipificaciones de la cubierta del suelo en pequeñas áreas.</li> </ul>
20-30 metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubica aeropuertos, cascos urbanos, barrios periféricos, centros comerciales, complejos deportivos, grandes fábricas, extensos bosques y explotaciones agrícolas de gran amplitud.</li> <li>• Realiza clasificaciones generalizadas de la superficie del terreno.</li> </ul>
80 metros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartografía estructuras geológicas regionales.</li> <li>• Evalúa la salud vegetativa en una región relativamente extensa.</li> </ul>

1 kilómetro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valora la salud vegetativa en estados y países enteros.</li> <li>• Sigue eventos regionales como plagas de insectos, sequía y desertificación.</li> </ul>
-------------	--

### 3.3. Elección de imágenes según la resolución espectral adecuada.

Durante el tratamiento de las imágenes, el ordenador convierte el valor de reflectancia de cada píxel en una escala de grises o de grado de brillo de color. La escala de gris monocromática se utiliza para representar imágenes pancromáticas puesto que éstas se componen de valores de reflectancia en una sola parte del espectro o banda. Esta es la razón por la cual las imágenes pancromáticas suelen ser en blanco y negro.

En las imágenes multiespectrales, cada píxel tiene un color que se crea combinando niveles de brillo en azul, verde y rojo, que se corresponden con los valores de la reflectancia en tres bandas diferentes. Las imágenes multiespectrales parecen fotografías en color debido a dicha combinación.

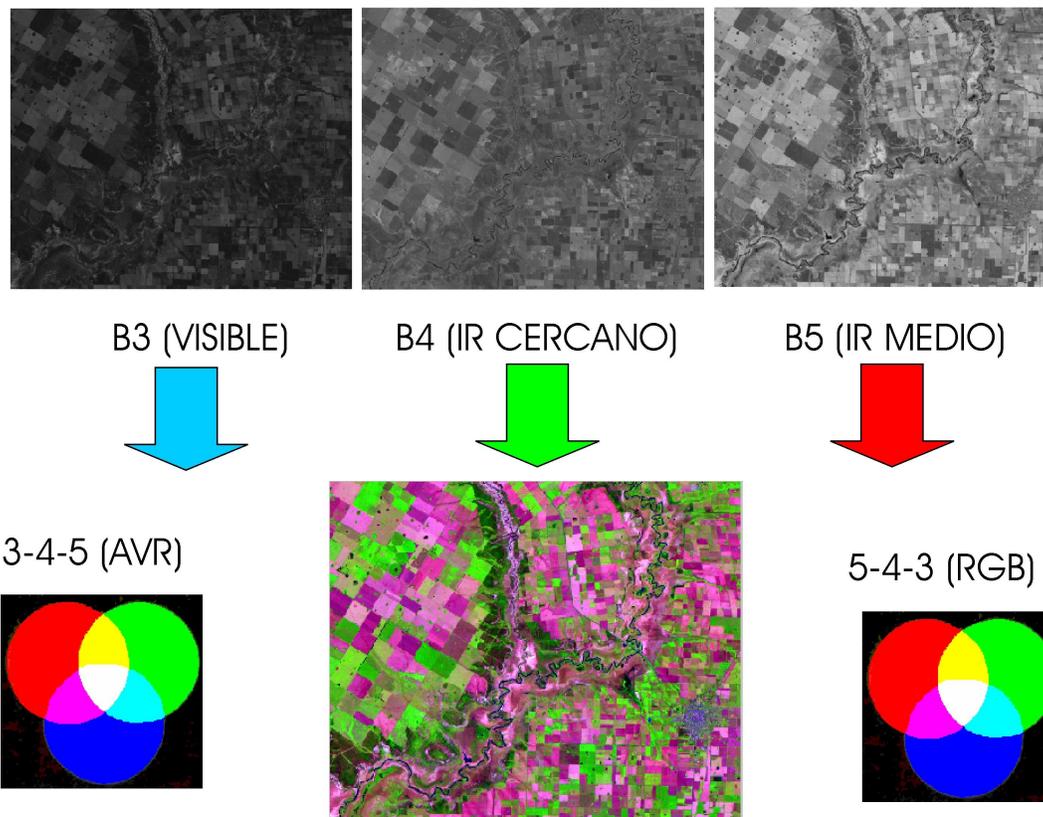


Figura III.14. Formación de una composición en color obtenida a partir de imágenes Landsat en los canales o bandas 3, 4 y 5, con los colores azul, verde y rojo, respectivamente.

Hay que tener en cuenta que los valores espectrales son sólo una parte de la información contenida en las imágenes de satélite. Cada píxel posee información espacial y espectral, lo cual significa que se pueden identificar visualmente accidentes

y objetos del terreno por su apariencia física. Por ejemplo, un edificio cuadrado aparecerá así y una parcela agrícola redonda mostrará así mismo dicha forma.

En lo que se refiere a la información espectral, la intensidad del color de la imagen revela también información. Por ejemplo, si se ha elegido el color rojo para representar la reflectancia del infrarrojo cercano de una imagen, objetos tales como la vegetación verde, que reflejan totalmente la energía en esa longitud de onda, aparecerán de color rojo brillante. Otros niveles de brillo corresponden a la reflectancia en otras bandas.

La interpretación de imágenes puede ir desde la simple inspección visual hasta la utilización de sistemas de tratamiento de imágenes que analizan y tipifican los rasgos del terreno basándose en el valor digital de las firmas espectrales. Los programas informáticos de tratamiento digital de imágenes y algunos de cartografía efectúan dicho análisis y tipificación con mucha mayor precisión que el ojo humano.

Entre las pautas visuales manejadas en teledetección espacial, algunas son comunes con la fotografía aérea, como el tono, la forma, el tamaño, la textura, la estructura, las sombras, el contexto, etc.; otros criterios tradicionales en fotointerpretación tales como la cobertura u observación estereoscópica, tan vital para estudios del relieve, están comenzando a ser accesibles en imágenes espaciales; mientras que otras, principalmente en lo que atañe a la dimensión multispectral y multitemporal de las observaciones, son más propias de las imágenes espaciales y más limitadas en la fotografía aérea (Chuvieco, 2002).

Como ya se ha mencionado, las mediciones de la reflectancia en diversas longitudes de onda revelan información específica de las características y rasgos del terreno. A continuación se ofrece un cuadro que relaciona las longitudes de onda con las aplicaciones comunes. No obstante, hay que tener en cuenta que las bandas rara vez se utilizan en solitario, normalmente se usan en combinaciones de tres bandas (composiciones en color).

<b>Guía para elegir las bandas espectrales adecuadas</b>	
(Fuente: Spot Image, 1999)	
<b>Longitudes de onda</b>	<b>Aplicaciones</b>
Azul visible (A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartografía de aguas someras</li> <li>• Diferenciación de suelo y vegetación</li> </ul>
Verde visible (V)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciación de la vegetación por su salud</li> <li>• Cartografía de aguas someras</li> </ul>
Rojo visible (R)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciación de la vegetación por especies</li> </ul>
Infrarrojo cercano (IRC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartografía de la vegetación</li> <li>• Cartografía del vigor/salud de la vegetación</li> <li>• Diferenciación de la vegetación por especies</li> </ul>
Infrarrojo medio (IRM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciación de los tipos de rocas por composición</li> <li>• Detección de humedad en la vegetación y el suelo</li> <li>• Cartografía de la estructura geológica</li> </ul>

	• Trazado de límites tierra/agua
--	----------------------------------



Figura III.15. Imagen Multiespectral Spot del Aeropuerto Internacional Ezeiza.

### 3.4. Elección de imágenes según la escala cartográfica adecuada.

Las imágenes digitales de satélite no poseen una escala propia. Sin embargo, existe un límite de la escala de los mapas e imágenes sobre papel que se pueden obtener a partir de un conjunto de datos digitales de imágenes. La escala geográfica depende de la calidad de los datos de la imagen y está muy ligada a la resolución espacial. Generalmente, un conjunto de datos con resolución espacial superior produce una escala geográfica mayor.

La tabla presentada a continuación da una idea de la mejor escala que puede lograrse para diversas resoluciones espaciales sin perder claridad ni calidad.

<b>Guía para elegir la escala cartográfica adecuada</b>	
(Fuente: Spot Image, 1999)	
<b>Resolución de la imagen</b>	<b>Escala cartográfica típica</b>
1000 metros	1:1.500.000
180 metros	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	1:2000

Al abordar la selección de imágenes de satélite, con una finalidad cartográfica específica, es preciso tener en cuenta otros aspectos o conceptos tales como:

**Costos:** Los precios de las imágenes varían en función de la resolución espacial, el tamaño de la escena, nivel de tratamiento y antigüedad. El mejor modo de comparar los costos de dos imágenes diferentes es utilizar una unidad común, por ejemplo, dividir el costo en dólares por kilómetro cuadrado. Los costos generalmente aumentan cuanto mayor es el nivel de procesamiento de la imagen y disminuyen al aumentar la antigüedad de ésta.

**Tamaños:** Generalmente, las imágenes están disponibles sólo en tamaños de escena estándar que guardan poca relación con la cartografía real. En la actualidad, se está comenzando a ofrecer imágenes cuyo tamaño concuerde con los productos cartográficos comunes. Otra opción muy extendida consiste en solicitar imágenes por kilómetro cuadrado. Ambos métodos de producción evitan mayores costos al usuario en datos que no necesita.

**Formatos:** Existen docenas de formatos de archivos para datos de imágenes digitales. Para estar seguros de que podemos exportar nuestras imágenes a un paquete estándar de procesamiento de imágenes o a un sistema SIG, necesitaremos una versión de algunos de los formatos estándar siguientes:

- Band Interleaved by Line (BIL)
- Band Sequential (BSQ)
- Tagged Image File Format (GeoTiff), *se trata de un archivo TIFF estándar que contiene información geográfica, varias industrias lo utilizan para manipulación digital de datos geográficos.*

**Soportes:** Las imágenes de satélite se ofrecen como archivos de imágenes digitales o en formatos impresos, en una serie de soportes para cada clase. Los productos digitales típicos se distribuyen en CD-Rom o DVD-Rom, mientras que los productos impresos se ofrecen a través de transparencias positivas, transparencias negativas y copias papel.

**Niveles de procesamiento de los productos:** Las imágenes pueden tratarse para realzar su apariencia visual y su exactitud geométrica. Es importante considerar que hay múltiples posibilidades de procesamiento, cuya selección se hará en función de los propósitos específicos y de acuerdo con el tipo de programa informático a utilizar para el trabajo con las imágenes.

**Datos en bruto:** Se trata del nivel inferior del procesamiento. En la mayoría de las imágenes de satélite, los datos en bruto poseerán cierto grado de corrección geométrica y radiométrica, lo que significa, simplemente, que se han eliminado las distorsiones causadas por el propio sensor.

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

**Geocodificación básica:** Los datos se transportan a coordenadas geográficas utilizando para ello la información de ubicación registrada por el satélite cuando se

captó la imagen que, a continuación, se traslada a la proyección cartográfica preferida por el usuario.

**Geocodificación total:** Los datos se corrigen mediante puntos de control en tierra, tanto procedentes de mapas como de mediciones GPS.

**Ortorrectificación:** La ortorrectificación es un proceso informatizado por el que se eliminan de las imágenes las distorsiones horizontales y verticales principalmente debidas al relieve. Este proceso mejora de forma espectacular la calidad y utilidad de la imagen porque le otorga las mismas cualidades que posee un mapa.

**Realce:** Se aplican algoritmos informáticos para aumentar la calidad de la imagen y destacar ciertos rasgos. El realce más común es el llamado por contraste (contrast stretching), por el que se reasignan los valores de reflectancia de los píxeles para abarcar toda la gama de la escala de 256 tonos de gris. Este procedimiento se asemeja a ajustar el mando de un receptor de televisión. Evita que se pierdan detalles en zonas muy oscuras o muy brillantes.

### 3.5. Elección de imágenes de satélite según la fecha adecuada.

Las imágenes de satélite se suelen considerar como los mapas más actuales porque incluso pueden haber sido actualizadas en la víspera. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las imágenes más antiguas poseen también un valor significativo. Las imágenes captadas con anterioridad se archivan y aplican ampliamente en los llamados “estudios de detección de cambios”. En tales proyectos, las imágenes antiguas se comparan con otras más recientes para detectar zonas en las que se han producido cambios a lo largo del tiempo, tales como los que afectan al uso y cubierta del suelo, hábitat, bienes raíces y terrenos pantanosos.

He aquí algunas nociones que hay que conocer acerca de las imágenes de archivo obtenidas por satélite.

**Costo:** Las imágenes de archivo son con frecuencia más económicas que las de nueva adquisición, especialmente si interesan en su forma menos elaborada. Hay que recordar, sin embargo, que una imagen con varios años de antigüedad es probablemente mucho más actual que cualquier información basada en mapas, ya que los proyectos de actualización cartográfica son más complejos de implementar regularmente.

**Disponibilidad de escena:** el tamaño del archivo es importante porque si contiene millones de escenas es más probable que pueda hallarse en él la imagen que se busca.

**Cobertura temporal:** Un archivo sólo contendrá escenas que se remontan al lanzamiento de un satélite determinado. Con frecuencia habrá muchas otras imágenes diferentes del área de interés, de forma que pueda elegirse una imagen de un año o estación concretos.

**Disponibilidad de formato:** Algunas imágenes se ofrecen en la actualidad en formatos diferentes de los de hace sólo unos años. Hay que asegurarse de que una escena antigua está disponible en un formato que uno puede utilizar.

**Cobertura global:** Un archivo de imágenes puede tener un área de cobertura limitada. Zonas bien cartografiadas tienen más posibilidades de estar en el archivo, aunque otras menos cambiantes pueden no estarlo. Si el área de interés está fuera de sectores con muchos antecedentes cartográficos, no hay que suponer que una escena de archivo está disponible hasta que no se haya comprobado.

**Posibilidad de búsqueda:** Muchas agencias de satélites disponen ahora de archivos que se pueden encontrar en Internet. Es posible limitar los parámetros de búsqueda por zona geográfica, fechas y contenido de nubosidad. Muchos servicios de búsqueda permiten visualizar previamente la imagen de la escena, y si resultara de interés, confirmar la solicitud de envío o descarga de la imagen seleccionada.

<b>Guía para elegir entre imágenes nuevas y de archivo</b>	
(Fuente: Spot Image, 1999)	
Imagen de archivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si está realizando un estudio de detección de cambio con una imagen de nueva adquisición.</li> <li>• Si los cambios recientes en la cubierta vegetal o en urbanismo carecen de importancia para su proyecto.</li> <li>• Si su proyecto se centra en el estudio de la estructura geológica y otras características físicas que no cambian apreciablemente con el tiempo.</li> <li>• Si necesita una imagen inmediatamente y no puede esperar unos días hasta que el próximo satélite programado pase por encima de su área de interés.</li> <li>• Si los cambios de la superficie terrestre ocurridos en los meses pasados no afectarán a su proyecto</li> </ul>
Imagen reciente o nueva adquisición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para todo tipo de cartografía urbana que exija información actualizada sobre situación de carreteras, estado de autopistas, urbanizaciones y cambios en el aprovechamiento del terreno.</li> <li>• Para actualizar mapas rasterizados o digitalizados.</li> <li>• Para comparar con una nueva imagen en un proyecto de análisis de cambio o de tendencias de crecimiento.</li> <li>• Para observar la salud de cultivos o bosques.</li> </ul>

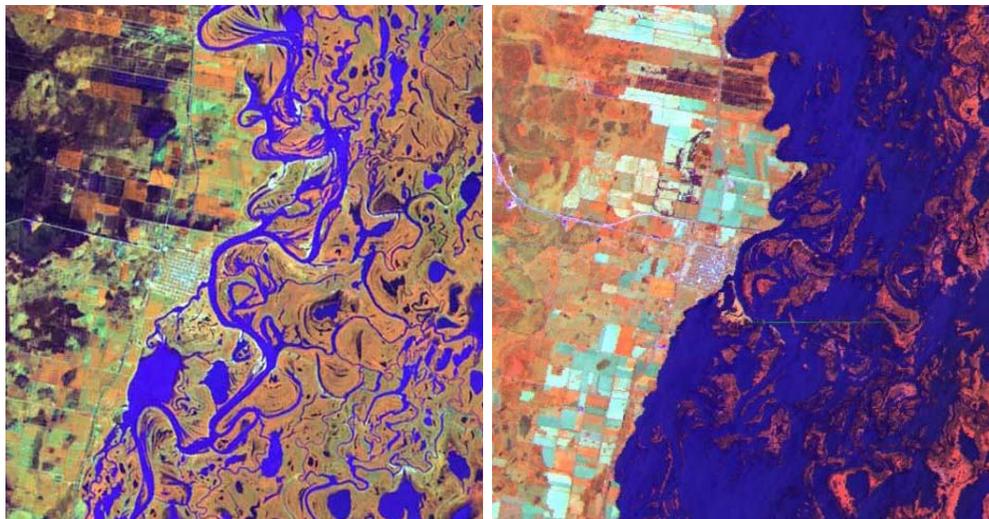


Figura III. 16. Imágenes de archivo del satélite Landsat que registran distintos eventos hídricos en el Dpto. San Javier, Pcia Santa Fe, Argentina.  
( Izq.: 24 de enero de 1988; Der.: 02 de diciembre de 1997)

## **4. Tratamiento de las imágenes de satélite**

### **4.1. Pre-procesamiento de imágenes: correcciones radiométricas y geométricas**

Las imágenes satelitales deben ser procesadas para mejorar la visualización de los datos que contienen, los cuales posteriormente serán interpretados con la consiguiente extracción de información. El proceso de las imágenes de satélite consiste de dos grandes pasos: pre-procesamiento (correcciones radiométricas y geométricas), y procesamiento (mejoras visuales y clasificación).

El pre-procesamiento involucra las correcciones radiométricas y las geométricas. Las primeras se refieren a la calibración de los sensores en la etapa de prelanzamiento del satélite y sus posteriores actualizaciones mensuales. La segunda se refiere a las correcciones que deben efectuarse debido a las alteraciones conocidas del sistema denominadas correcciones sistemáticas.

Estas variaciones geométricas de la imagen son producidas por cambios de actitud del satélite, es decir, de los movimientos de cabeceo, balanceo y rotación, por cambios de altura y velocidad del satélite, y el sesgo producido por la rotación terrestre.

Las correcciones se basan en la determinación de la actitud y el estado orbital a partir de datos medidos a bordo del satélite a lo largo de toda su trayectoria, y en particular en el momento de la captura de imágenes. Estos datos adicionales son comúnmente denominados de telemetría.

El usuario recibe la imagen satelital con las correcciones sistemáticas ya efectuadas en la estación receptora de los datos. En la República Argentina, la misma está ubicada en Falda del Carmen - Prov. de Córdoba, y es controlada por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).

Lo que debe realizar a continuación el usuario, es la denominada georreferenciación de la imagen que consiste en transformar las coordenadas de la imagen a coordenadas planas pertenecientes a una determinada proyección cartográfica, que para el caso de nuestro país corresponde a la Proyección transversa Gauss-Krüger, empleando como sistema de referencia el WGS-84.

La georreferenciación de la imagen satelital es efectuada por el usuario aplicando el denominado método de puntos de control que consiste en buscar puntos perfectamente identificables tanto en la imagen a corregir como en una cartografía u otra imagen ya georreferenciada, las cuales serán empleadas como base de referencia.

Estos puntos de control deberán ser de preferencia elementos antrópicos, tales como, cruces de caminos, de alambrados, puentes, etc.

Una vez seleccionados los puntos y a través del empleo de una ecuación polinómica se asignan las coordenadas de la imagen o carta de referencia a la imagen sin corregir. A continuación, en la Figura III.17 se puede observar una imagen satelital sin corregir y a su lado la misma imagen ya georreferenciada.

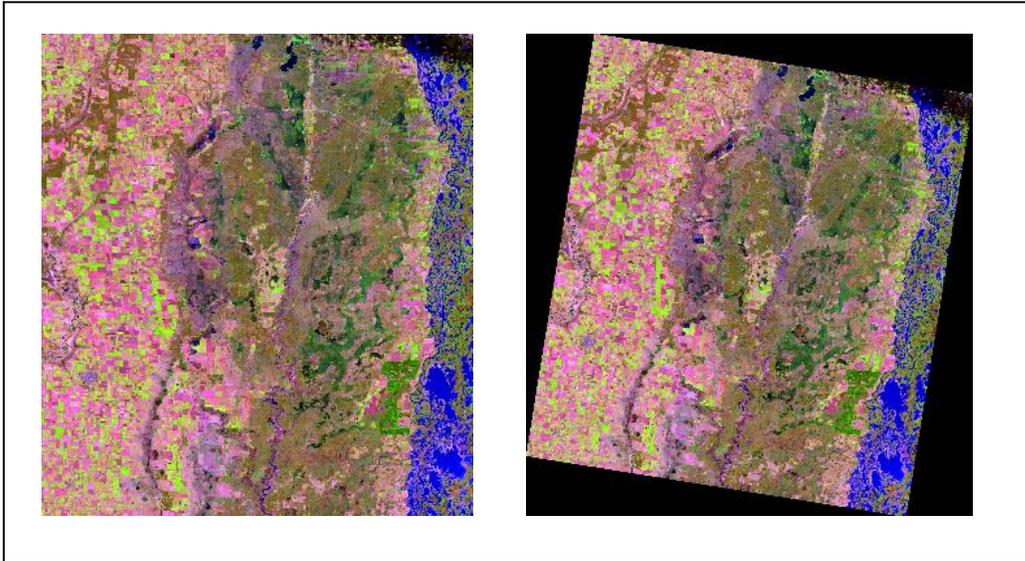


Figura III.17. Imagen satelital sin corregir (izq.) y georreferenciada (der.).

#### 4.2. Procesamiento de imágenes: Mejoras visuales y Clasificación.

El procesamiento de imágenes implica tanto las mejoras visuales de la imagen como su clasificación. En el primer caso se consideran los realces, composiciones color, filtros, índices de vegetación, componentes principales, etc.

En el caso de los **realces** se aplican determinados algoritmos para mejorar el aspecto visual de la imagen aumentando su contraste. El realce más común es el lineal que permite reasignar los valores digitales originales de los píxeles para abarcar todo el rango de 256 tonos de grises disponibles (Figura III.18).

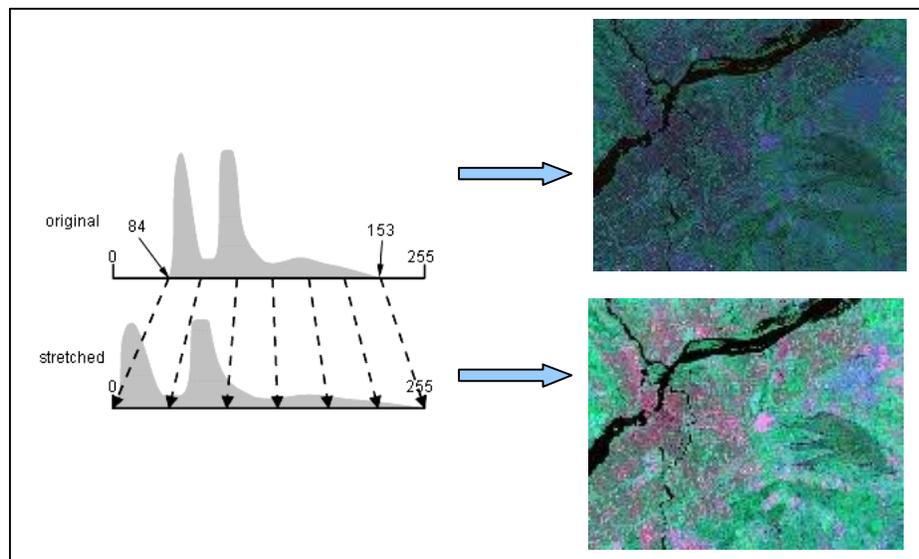


Figura III.18. Imagen satelital sin realce (arriba) y con realce lineal (abajo).

En las imágenes multiespectrales, es decir, aquellas que poseen varias bandas, es posible aplicar una composición color.

La Tabla III.1 describe los rangos espectrales de cada una de las bandas del sensor ETM+ del satélite Landsat. Las bandas 1, 2 y 3 corresponden al espectro visible (azul, verde y rojo, respectivamente), la banda 4 al infrarrojo cercano, las bandas 5 y 7 al infrarrojo medio, y la banda 6 al infrarrojo térmico.

Tabla III.3.1. Sensor ETM+ del satélite Landsat 7.

Subsistema	Banda espectral	Rango espectral	Resolución Espacial
Panromático	Pan	0,50-0,90	15 m
Visible Azul	1	0,45-0,52	30 m
Visible Verde	2	0,52-0,60	30 m
Visible Rojo	3	0,63-0,69	30 m
IR Cercano	4	0,75-0,90	30 m
IR Medio	5	1,55 - 1,75	30 m
IR Medio	7	2,08 - 2,35	30 m
IR Lejano	6	10,4 - 12,5	60 m

En la aplicación de una composición color, intervienen tres bandas y a cada una de las mismas se le asigna un determinado color (azul, verde o rojo). Esto se conoce como método aditivo de colores. Entonces cada píxel de la imagen tendrá un tono azul en una banda, otro verde en la segunda y uno rojo en la tercera. Al efectuarse la composición color se obtiene una nueva imagen donde cada píxel tendrá un determinado color en función de los valores originales que presentaba en cada banda considerada.

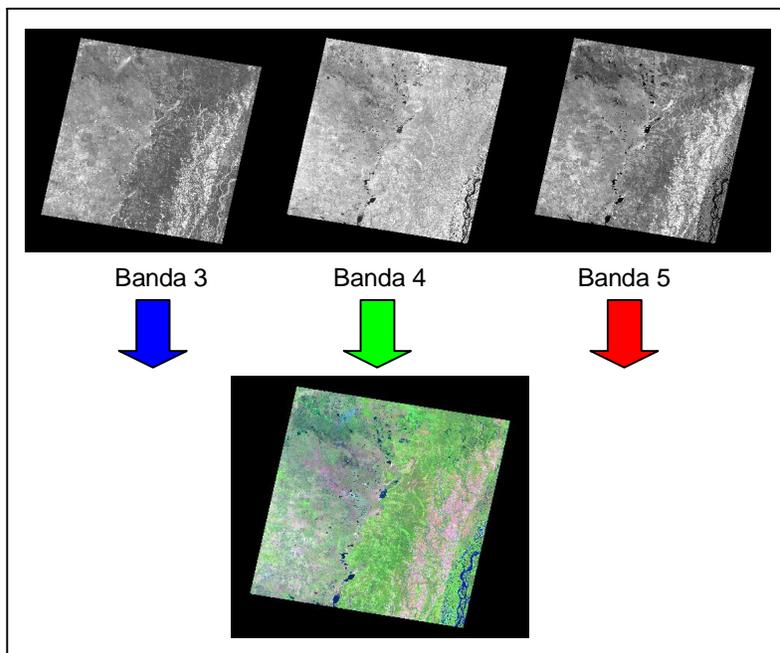


Figura III.19. Realización de una composición color AVR-345 (RGB-543) Landsat 7.

La Figura III.19 muestra una composición color efectuada con las bandas 3, 4 y 5 del satélite Landsat 7 sensor ETM+, a las cuales se les asignó los colores azul, verde y rojo, respectivamente.

El segundo punto del procesamiento digital de imágenes satelitales se refiere a la **clasificación de imágenes** que consiste simplemente en asignar los píxeles de la imagen a determinadas clases de interés.

Existen dos tipos principales de clasificación de imágenes: la no supervisada y la supervisada. La diferencia fundamental entre ambas es la participación del usuario en el proceso.

En el primer caso el usuario no interviene ya que se produce un agrupamiento automático de píxeles con valores digitales similares. En el segundo caso es el usuario quien establece una relación entre los valores digitales de los píxeles y las clases temáticas de interés. A partir de dicha relación se clasifica toda la imagen (Figura III.20).

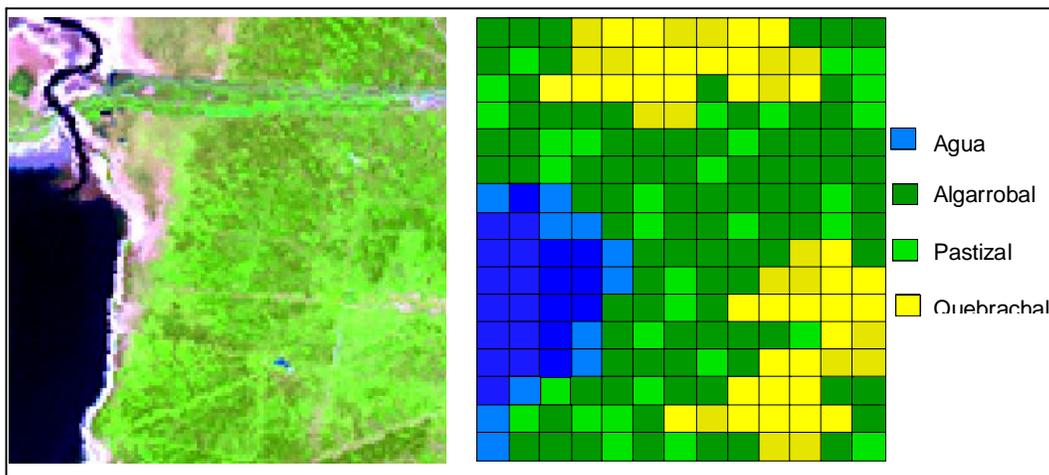


Figura III.20. Imagen satelital (izq.) e imagen clasificada (der.).

#### 4.3. Productos cartográficos derivados de imágenes de satélite.

Las imágenes de satélite, como fuentes de datos de la superficie terrestre, son cada vez más utilizadas para la elaboración de diferentes tipos de mapas. En el proceso de interpretación de imágenes, los datos contenidos en una imagen son transformados en información y presentados en forma de mapa. En cuanto los mapas contienen información, las imágenes obtenidas de sensores remotos contienen datos brutos, que solo se tornan en información después de su interpretación (Florenzano T., 2000).

Uno de los aspectos más valiosos de las imágenes digitales es que pueden ser procesadas y realizadas por ordenador para generar una serie de productos de información diferentes. A continuación se enumeran algunos de los productos más

corrientes que se extraen de las imágenes obtenidas por satélite, tareas que pueden llevarse a cabo con programas de procesamiento de imágenes:

- (i) Mapas de clasificación
- (ii) Modelos digitales del terreno/elevación
- (iii) Fusiones
- (iv) Mosaicos
- (v) Detección de cambios

### **(i) Mapas de clasificación**

Llamados también mapas morfológicos son probablemente los de tipo más común entre los creados a partir de imágenes de satélite. En estos mapas temáticos, las zonas de terreno se clasifican y agrupan en clases de cobertura y ocupación del suelo. Las clasificaciones pueden ser amplias, como zonas urbanas, boscosas, de campo abierto y de aguas. También pueden ser muy específicas, diferenciando campos de maíz, trigo, soja o girasol. Normalmente, los distintos tipos de terreno están codificados en colores.

### **(ii) Modelos digitales del terreno**

Estos conjuntos de datos contienen medidas de la elevación del terreno obtenidas aplicando procedimientos fotogramétricos a pares de imágenes estereoscópicas solapadas. Los modelos digitales del terreno se usan con frecuencia para crear modelos tridimensionales y en los programas informáticos de visualización comúnmente usados en ingeniería civil, cartografía geológica y simulación de vuelos.

### **(iii) Fusiones**

Es posible fundir dos tipos de imágenes de satélite distintos para crear un producto híbrido que aúne las ventajas de ambas imágenes. Lo más habitual es fundir o fusionar una imagen pancromática, como la Spot de 10 metros, con otra multispectral Spot de 20 metros ó Landsat de 30 metros. Esto produce una imagen que contiene los datos multispectrales y la información espacial de la imagen pancromática.

### **(iv) Mosaicos**

Es frecuente que la escena de la imagen del satélite no abarque el área de interés en su totalidad. En ese caso, se pueden obtener dos ó más escenas adyacentes y efectuar un mosaico utilizando complejos algoritmos informáticos que hagan coincidir exactamente los bordes de las escenas y equilibren los colores para crear una base de datos sin fisuras de la zona extensa.

### **(v) Detección de cambios**

Para crear una imagen de detección de cambios se aplican algoritmos especiales a dos imágenes de satélite de la misma zona, tomadas en momentos distintos. El ordenador examina todos y cada uno de los píxeles de las dos escenas para determinar qué valores de píxel han cambiado. En la mayoría de los casos, el área modificada se resalta en color.

Este procedimiento se utiliza habitualmente para cartografiar automáticamente extensas zonas e identificar cambios como nuevos edificios, carreteras y

urbanizaciones. De este modo se identifican también cambios radicales, como la transformación de bosques en zonas de cultivos.



Figura III.21. Imágenes Multitemporales Landsat e Imagen de Detección de Cambios. Una porción del territorio Brasileño en 1985 (izq.), en 1995 (centro), comparativo (der.).

#### **Preguntas acerca de “Teledetección”**

- ¿En qué consiste la Teledetección?
- ¿Cuáles son los elementos que componen un sistema de Teledetección?
- ¿Cuál es el concepto de resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal?
- ¿Qué imágenes de satélite conviene utilizar para obtener información regional sobre un área territorial extensa?
- ¿Qué imágenes de satélite conviene utilizar para obtener información detallada sobre un área territorial pequeña?
- ¿Qué elementos tendré en cuenta para elegir las imágenes de satélite más adecuadas para mi objetivo y estudio específico?
- ¿Cómo puedo mejorar el aspecto visual de las imágenes de satélite, para extraer y analizar más detalles o elementos del terreno?
- ¿Qué etapas o fases contempla la georreferenciación de imágenes de satélite? ¿Cuál es su utilidad?
- ¿Cuál es el concepto de clasificación digital de imágenes? ¿Cuál es su utilidad?
- ¿Cuáles son recursos informáticos que se disponen para teledetección?
- ¿Qué tipo de productos cartográficos puedo derivar de imágenes de satélite?