

Aplicaciones Urbanas de la Teledetección

José Ciampagna

Índice

Introducción	2
1 Principios de Teledetección.....	3
1.1 La energía electromagnética.....	5
1.2 Factores que distorsionan el comportamiento de la energía electromagnética.....	7
2 Sensores Remotos	9
2.1 Sensores activos y pasivos	10
2.2 Resoluciones.....	12
3 Imágenes satelitales	13
4 Procesamiento de imágenes.....	15
4.1 Correcciones radiométricas	15
4.2 Correcciones geométricas	17
4.3 Georreferenciación	18
4.4 Ortorrectificación de Imágenes.....	20
5 Confección de Cartografía urbana con imágenes.....	20
6 Cartografía y Explotación semántica	21
6.1 Utilización de la Teledetección para confeccionar Cartografía Urbana...	21
6.2 Clasificación de Imágenes	24

Introducción

Volar ha sido uno de los sueños más intensamente anhelados por la humanidad desde épocas muy remotas. Uno de los principales objetivos de la aventura aérea fue la búsqueda de una nueva visión de los paisajes terrestres, de una imagen o vista panorámica similar a la que se observa desde las cimas de las montañas. El afán de remontar la limitada perspectiva de la visión humana a nivel de suelo es evidente desde principios de la aeronáutica.

Observar a la superficie terrestre “desde arriba” exige instrumentos y técnicas especiales que permitan capturar (obtener y registrar) datos acerca de objetos con los cuales no se está en contacto físico. Estos instrumentos sensibles a algún tipo de radiación emitida o reflejada por los objetos distantes se denominan Sensores Remotos y el estudio de sus características y de las técnicas utilizadas para el tratamiento de los datos que generan están comprendidas en el área denominada Teledetección¹.

Las técnicas de Teledetección se desarrollaron notablemente a partir de la II Guerra Mundial debido a la importancia de ésta tecnología para la definición de estrategias. Continuó evolucionando en el campo militar, transfiriéndose paulatinamente métodos y productos para el uso civil. El Cuadro 6.1 contiene una breve cronología de los hechos más significativos de la historia de la Teledetección.

Cuadro 6.1 – Evolución de la Teledetección²

Fecha	Acontecimiento
1839	Creación del primer sensor capaz de almacenar una imagen, la emulsión fotográfica, descubierta por Niepce y Daguerre.
1850	Aparición de la primera cámara fotográfica.
1859	En la batalla de Solferino en Italia se sube a un globo aéreo una cámara fotográfica.
1903	Los hermanos Wright vuelan por primera vez en avión.
1909	Wilbur Wright adquiere la primera fotografía aérea.
1915	En la primera guerra mundial C. Messter de Carl Zeiss desarrolla la primera cámara aérea.
1939 1945	Durante el transcurso de la II Guerra Mundial comienzan los desarrollos del radar en Alemania e Inglaterra. La interpretación de imágenes se extiende a otros usos civiles además de la guerra.
1950	Se desarrolla el primer film color infrarrojo en Estados Unidos.
1957	Lanzamiento del primer satélite artificial Sputnik , realizado por Rusia.
1960	Se usa por primera vez un satélite (Tiros) a fin meteorológico.
1969	A bordo de la Apollo 9 se realiza el primer experimento multi-espectral, denominado S065, compuesto por cuatro cámaras Hasselblad con distintos filtros.
1972	Se pone en órbita el primer satélite con cubrimiento global con una resolución de 80 metros

¹ El término **Teledetección** comenzó a utilizarse a principios de los años 60 para designar cualquier medio de observación remota y si bien comenzó a ser aplicando a los productos y sensores suborbitales como la fotografía aérea, actualmente contempla a todos los instrumentos y técnicas orbitales. En el contexto de esta obra al referirse a Teledetección se estará haciendo mención a sensores remotos e imágenes satelitales.

² Adaptado de: Emilio Chuvieco. *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Ediciones Rialp, Alcalá, Madrid, España, 2da. Edición, 1995 y Gottfried Konecny. *Geoinformation-Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems*. Taylor and Francis, London, 2003.

	cuatro canales, el visible y un canal infrarrojo denominado Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1), llamado después Landsat 1.
1975	Es lanzado el segundo satélite ERTS, denominado Landsat 2 por primera vez.
1978	Se lanza el Landsat 3 con 30 metros de resolución y seis canales de recepción y uno térmico
1982	Se poné en órbita el Landsat 4 con la inclusión del sensor Thematic Mapper (TM) con 30 metros de resolución y 7 bandas espectrales es el mismo sensor que el futuro Landsat 5 aún en órbita.
1986	Lanzamiento del satélite SPOT de Francia con resolución de 10 metros en el canal pancromático y 20 metros en multiespectral.
1996	Se lanza el satélite Indio IRS1C y 1D con píxel de 6 metros
1999	Lanzamiento del satélite comercial Ikonos con píxel de 1 metro. Lanzamiento del Satélite Landsat 7 con el sensor ETM+.
2000	Se lanza la misión "Shuttle Radar Topography" para obtener el relieve terrestre a 30 metros de resolución. Fracaso a puesta en órbita del satélite QuickBird-1. El satélite EROS A, lanzado en diciembre de 2000, adquiere imágenes blanco y negro de una superficie de 13,5 km x 13,5 km a 1,8 m de resolución.
2001	Se lanza el satélite comercial QuickBird-2 con píxel pancromático de hasta 0,61 metros según el ángulo de toma.
2003	Se lanza el satélite comercial OrbView - 3 de un metro de resolución.
2004	Lanzamiento del satélite Formosat-2, programa desarrollado mayoritariamente por la agencia espacial de Taiwan. Su órbita de características especiales le confiere propiedades geosíncronas y heliosíncronas lo que permite tomar imágenes diariamente del mismo lugar con resolución de 2 metros.
2007	En plan de ser puesto en órbita el satélite OrbView 5 con resolución de 0,41 metros de resolución.

El estudio de las técnicas e instrumentos citados puede ser encarado de varias formas, una de ellas es dividirlo en las épocas "fotográfica" (Fotogrametría y Fotointerpretación descriptas en el Capítulo 5) y de "imágenes satelitales" (Teledetección).

1 Principios de Teledetección

La fotografía pancromática³ retrata la visión que el ojo humano capta de un área en un instante, mientras que la Teledetección extiende el rango de percepción del espectro visible permitiendo observar también imágenes "invisibles" por el ojo humano.

Los sensores remotos satelitales están ligados estrechamente a la tecnología de satélites y la toma de imágenes en forma digital. Las imágenes generadas por los sensores remotos pueden representar vistas como en la fotografía convencional. Ello se produce con la reproducción en una pantalla de video (monitor de computadora) de las bandas en el espectro visible tal como si fuera una fotografía convencional. Si se desea reproducir imágenes en pantalla de otras partes diferentes al espectro visible, (imposibles de ver directamente por el ojo humano) se pueden visualizar asignando falsos colores visibles a las bandas no visibles.

³ Si bien existen fotografías sensibles a radiación que pertenece a bandas del espectro electromagnético que van mas allá del campo de visión humana, en esta obra se consideran solamente las pancromáticas que presentan sensibilidad en este campo de visión.

Justamente los fundamentos básicos de los sensores remotos son las propiedades de la radiación electromagnética y su interacción con la materia.

La Figura 6.1 siguiente explica claramente el proceso de teledetección.

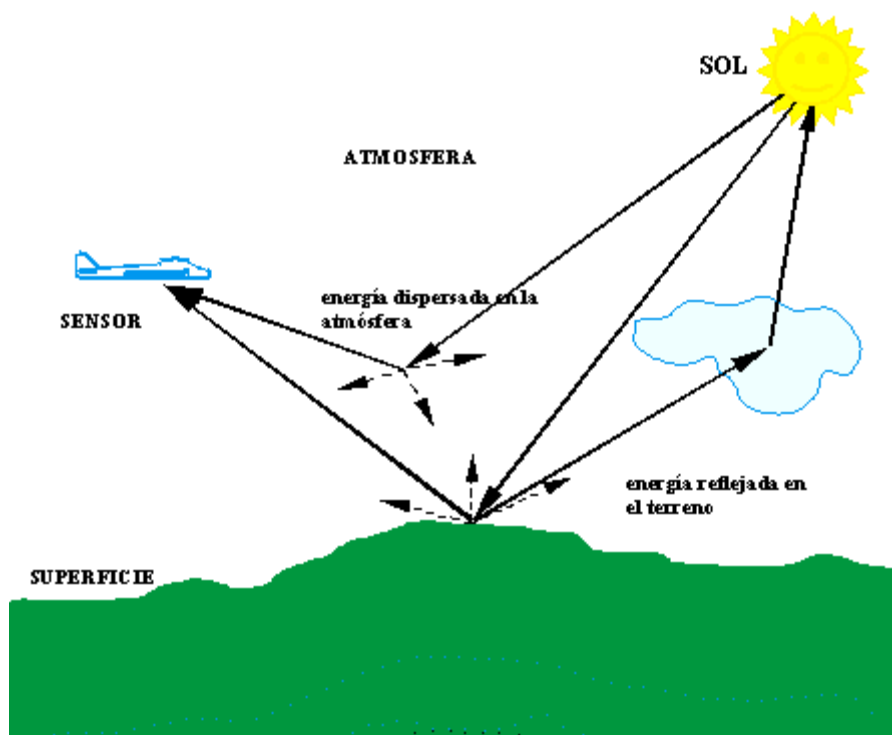


Figura 6.1 – Principios de la Teledetección

Como se puede observar siempre hay una fuente de energía electromagnética (por ejemplo, el Sol) que emite energía, la atmósfera la modifica de diferentes formas, esa energía incide sobre un objeto ubicado sobre la superficie terrestre, ese objeto interactúa con ella: absorbe (en todos los casos) y transmite (en caso de ser traslúcido) una parte y la otra parte la refleja. El sensor capta la energía reflejada y modificada nuevamente por la atmósfera, la cuantifica (discretiza) y graba las diferentes intensidades recibidas en forma de datos numéricos, transmitiéndolos a un receptor donde se procesan y almacenan. A partir del procesamiento cada objeto real tendrá una representación en la imagen las cuales pueden ser analizadas para obtener información del área de estudio.

1.1 La energía electromagnética

La primera teoría sobre la propagación de la luz fue enunciada por Newton y se la conoce como teoría corpuscular. Según ella, las fuentes luminosas emiten luz en forma de corpúsculos muy livianos. La segunda observación sobre la naturaleza de la luz lo constituye la llamada teoría ondulatoria enunciada por Huygens y afirma que la propagación se realiza por ondas, a manera de la propagación mecánico-acústica, como por ejemplo la propagación del sonido en el aire. El medio donde se realiza esta propagación, de acuerdo a esta teoría, era el denominado “éter”.

A partir de los estudios de Maxwell y Hertz se desarrolla la teoría electromagnética donde se explican algunos fenómenos físicos no resueltos por las teorías anteriores. Si bien se mantiene la idea de un comportamiento ondulatorio, la teoría de Maxwell dice que lo que se propaga es un campo electromagnético en cambio de una vibración mecánica sobre el éter.

Los aspectos geométricos de la teledetección se basan en criterios ondulatorios, así como su interacción con la materia se apoya en los conceptos de la física cuántica de Plank (que vino a unir en el tiempo las ideas de Newton y Maxwell). Así la energía electromagnética corresponde a un “quantum” de energía (fotón) que se desplaza siguiendo un comportamiento ondulatorio.

Así, las ondas electromagnéticas constituyen un tipo especial de ondas producidas por la asociación de dos campos perpendiculares: el campo eléctrico y el campo magnético (Figura 6.2).

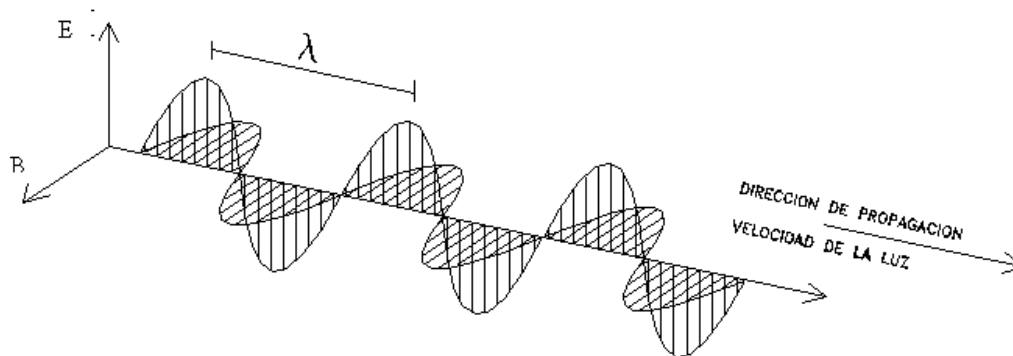


Figura 6.2 – Onda electromagnética

Las ondas electromagnéticas pueden ser modeladas como si fueran ondas sinusoidales con una longitud definida y su fórmula general es:

$$C = \lambda \cdot F$$

donde: **C** = velocidad de la luz que corresponde a 300.000 km/s en el vacío (constante para todas las ondas electromagnéticas), **λ** = longitud de onda medida en metros y **F** = Frecuencia medida en ciclos por segundo.

La longitud de onda es la distancia existente entre dos crestas sucesivas de la onda expresada en metros y la frecuencia es la inversa del período o número de longitudes de onda que se produce en la unidad de tiempo (segundo).

Existe una gran variedad de ondas electromagnéticas que difieren en su longitud de onda y, en consecuencia en su frecuencia (puesto que la velocidad de la luz, considerada en el vacío, es constante). Entre las ondas electromagnéticas más conocidas se encuentran la luz visible proveniente del Sol, las ondas de radio, los rayos X, la luz ultravioleta, las ondas de radio, las microondas, etc. .

Al conjunto de todas las ondas electromagnéticas se lo conoce como **espectro electromagnético** (Figura 6.4) el cual abarca a todos los tipos, desde longitudes pequeñas (como los rayos X o la luz visible), hasta las más grandes, entre las cuales se encuentran las ondas de radio.

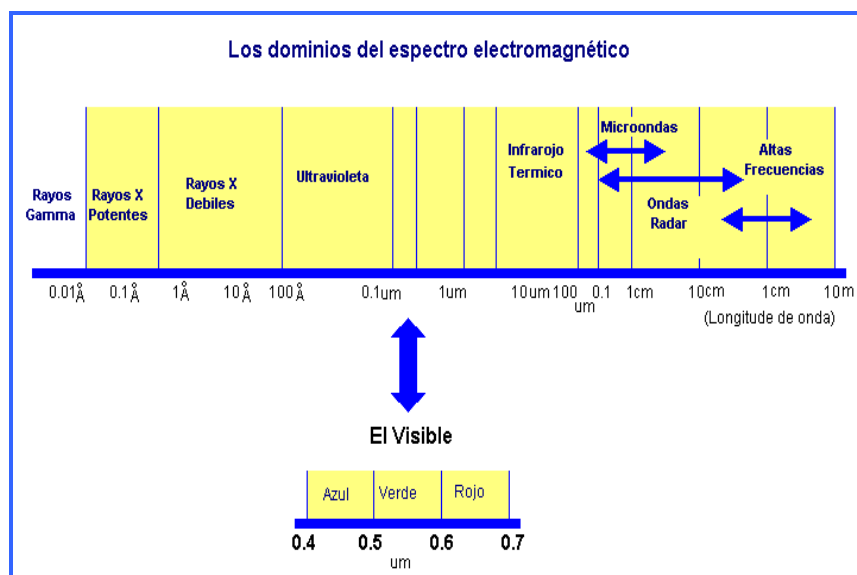


Figura 6.4 – Espectro electromagnético

Dentro del espectro existen porciones que presentan comportamiento similar, cada una de las cuales se denomina **banda**. Entre las más frecuentes empleadas en Teledetección se encuentran:

- Espectro visible (0.4 a 0.7 μm) , que generalmente se lo separa en tres bandas: rojo, verde y azul
- Infrarrojo cercano o fotográfico (0.7 a 1.2 μm)
- Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm)
- Infrarrojo lejano y térmico (8 a 100 μm)
- Micro ondas (> mm)⁴.

⁴ Especialmente utilizadas en sensores activos tipo RADAR que trabajan con ondas de longitud centimétrica.

1.2 Factores que distorsionan el comportamiento de la energía electromagnética

La presencia de la atmósfera modifica el supuesto teórico de la propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío y altera significativamente la calidad de las imágenes. Al igual que luego de un día de lluvia la visión del paisaje es más clara, lo que demuestra la presencia de la atmósfera y sus partículas en suspensión, la atmósfera entre la fuente y el sensor opera como un poderoso filtro en los caminos de ida y vuelta de la energía electromagnética. Los dos principales efectos son: absorción y dispersión atmosférica.

La **dispersión** de la radiación electromagnética es causada por la interacción entre esta y las partículas atmosféricas en suspensión, cuya presencia puede ser constante (oxígeno y el dióxido de carbono) o variable (partículas de polvo provocadas por el viento u otros gases provenientes de la producción industrial).

La **absorción** de la atmósfera funciona como un filtro que impide la transmisión de las ondas electromagnéticas a ciertas frecuencias. La consecuencia de la absorción atmosférica es tan importante que solo permite la utilización de parte del espectro de ondas emitidas por el sol. Luego, el diseño de los sensores se limita a la observación en estas bandas, también llamadas “ventanas atmosféricas”.

De toda la energía que incide sobre un objeto se cumple que la proporción del flujo incidente reflejado, absorbido y transmitido depende de la superficie y la materia que lo compone. Además se puede demostrar que la proporcionalidad varía con la longitud de onda y esta característica es conocida como **firma espectral** (Figura 6.5).

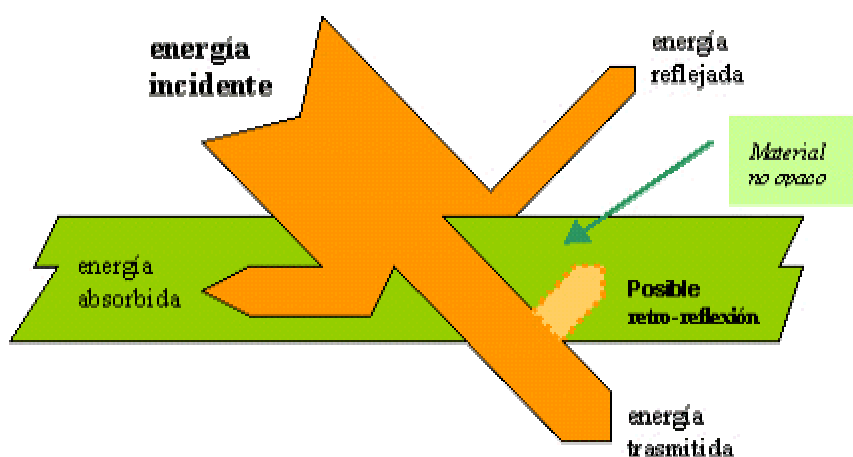


Figura 6.5 – Interacción de la radiación con la materia

La firma espectral consiste en valorar el hecho de que diferentes objetos de la superficie terrestre se caracterizan por una reflectancia específica, propia de cada uno de ellos. Esta reflectancia depende de su composición química y su estructura física. La teledetección aprovecha esta propiedad específica para lograr identificar los diferentes objetos del terreno.

La Figura 6.6 muestra algunos ejemplos de firmas espectrales a partir de las cuales se puede entender y comprobar, entre otras cosas, porqué la vegetación es predominantemente verde al analizar su reflectancia en el espectro visible y su alta reflectividad en el infrarrojo cercano (de gran importancia en los estudios de cultivos). También se puede ver que el agua no refleja el infrarrojo (apareciendo negra en las imágenes infrarrojas) y que los suelos son principalmente rojizos o pardos.

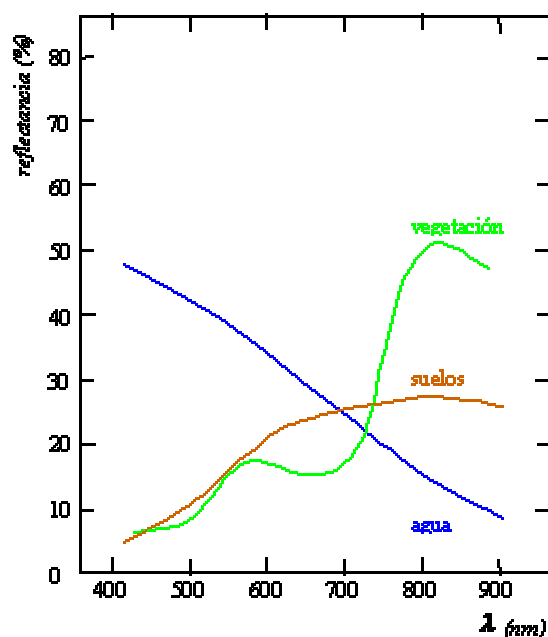


Figura 6.6 – Firmas espectrales

Algunos inconvenientes que se presentan en la utilización del concepto de la firma espectral son:

- que la reflexión producida depende de la forma de estos objetos, del ángulo de toma de la imagen y la elevación solar. Estos factores pueden maximizar o también minimizar la calidad de la señal recibida.
- la vecindad radiométrica muy estrecha entre algunos objetos geográficos. Factor que puede llevar a firmas espectrales intermedias según la resolución espacial de la imagen.

- los parámetros propios de los satélites durante la toma: la hora, la incidencia del ángulo del emisor de energía (Sol) con la Tierra según la estación del año entre otros, están lejos de ser factores marginales y sus grados de incidencia son variables en función de los estudios a realizar.

Buscar firmas espectrales de los diferentes objetos geográficos de interés parece un ejercicio difícil pero no del todo imposible. Una de las herramientas más importantes disponibles para resolver este tipo de inconvenientes es la corroboración a campo del valor espectral que se obtiene en la imagen llegando al lugar con un sistema de posicionamiento global.

2 Sensores Remotos

Al definir Teledetección espacial como el área que estudia las técnicas que permiten adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales (satélites), se supone que entre los objetos y el sensor existe una interacción energética, sea por emisión propia o por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial.

Se denomina **satélite** a todo cuerpo que gira alrededor de una órbita alrededor de una masa mayor y no necesita motor o impulsión propia, se mueve impulsado por las leyes de gravitación.

Existen básicamente dos tipos de satélites: los naturales, como por ejemplo la Luna girando alrededor de la Tierra y los artificiales, propios de la obra del hombre. Los satélites artificiales tienen diferentes fines: comunicación, localización y navegación (como los satélites del GPS), estudios científicos y observación de la Tierra.

Un aspecto muy importante que caracteriza a los satélites es su órbita. En los satélites de observación la altura de la órbita define el área de levantamiento, encontrándose en general entre 700 y 1000 kilómetros de altitud. El tiempo y la velocidad que utilizan para realizar una órbita completa es otra de las características, determinando la capacidad de volver a ubicarse sobre el mismo punto (re-visita). Otra característica importante es la posición de la órbita (inclinación sobre el plano del Ecuador) con respecto a la Tierra.

Existen también los satélites geoestacionarios, son aquellos que su órbita está en el plano del ecuador y mantienen la misma velocidad angular que la Tierra para lo cual orbitan a 36.000 km de altura. Son de baja resolución pero tienen la ventaja de ver una gran área del planeta. Los satélites geoestacionarios son ideales para las comunicaciones y para fines meteorológicos (Metosat, Goes1 y 2, etc.)

En satélites para observación terrena se usan en general órbitas cuasi polares y heliosincrónicas (el plano de la órbita contiene al sol garantizando igual iluminación para todas las imágenes). La órbita y su inclinación en combinación con la rotación de la Tierra determinan su traza o pista. La repetición de la traza luego de un número específico de días permite la toma de imágenes con determinados patrones de cubrimiento.

2.1 Sensores activos y pasivos

La principal forma de clasificar los sensores remotos es la que considera el origen del emisor de la energía. En este sentido existen dos tipos:

- Son **sensores activos** (Figura 6.7 - a) aquellos que tienen la capacidad de emitir un haz de energía que posteriormente recogen tras su reflexión sobre la superficie de los objetos que pretende observar. El equipo más común es el RADAR que trabaja en la banda de las microondas y su importancia radica en que no es afectado por las condiciones climáticas.
- Los **sensores pasivos** (Figura 6.7 - b) se limitan a recoger la energía electromagnética procedente de los objetos, sea ésta reflejo de los rayos solares o emitida en virtud de su propia temperatura. Dentro de ésta categoría cabe una segunda clasificación:
 - los **sensores de barrido** (*scanners*) donde un espejo móvil permite explorar una franja del terreno a ambos lados de la traza del satélite. La radiancia recibida por éste componente óptico, se dirige a una serie de detectores que la amplifican y la convierten en una señal digital. Los más utilizados han sido los incluidos en los programas LANDSAT (MSS, Multi Spectral Scanner y TM, Thematic Mapper), y TIROS-NOAA (AVHRR, Advanced Very High Resolution Radiometer).
 - los **sensores de empuje** (*pushbroom*) en los que se elimina el espejo oscilante al disponer de una cadena de detectores que cubre todo el campo de visión del sensor. Están incorporados a varios proyectos como en el caso del satélite francés SPOT y del indio IRS-1.

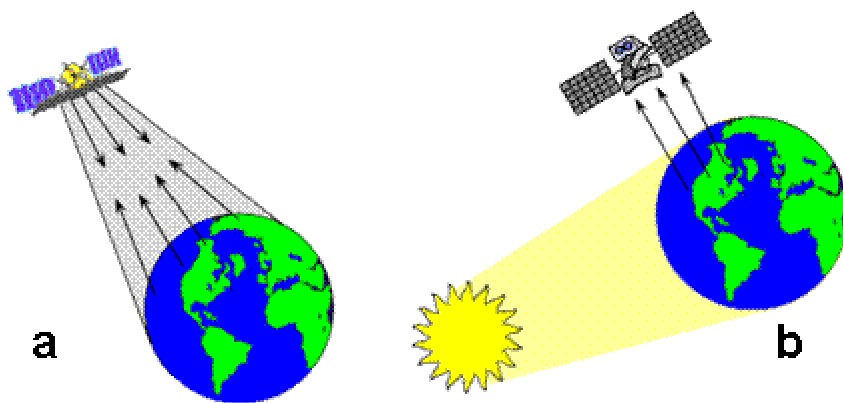


Figura 6.7 – Sensores Activo (a) y Pasivo (b)

Entre los satélites más usados en teledetección encontramos los sistemas LandSat, SPOT, NOAA, Ikonos, QuickBird cuyas características principales se describen a continuación.

2.1.1 Landsat

El sistema Landsat, de origen norteamericano, es el sistema más conocido, productivo y el primero usado exclusivamente para la observación de los recursos terrestres. Este programa en su origen fue denominado ERTS (Earth Resource Technology Satellite), es operado actualmente por el EROS Data Center del USA Geological Service. El primer satélite del sistema fue puesto en órbita el 23 de Julio del año 1972 y desde esa época han sido 7 los satélites de la serie. El Landsat 6 no pudo ser puesto en órbita. Están operacionales Landsat 5 y el último Landsat 7 fue lanzado en Abril de 1999, del cual se reciben imágenes con algunas dificultades en la actualidad debido a la rotura de uno de sus sensores.

Los satélites Landsat han usado y usan distintos tipos de sensores multiespectrales de barrido óptico electrónico. El primero es el *Multi-Spectral Scanner* (MSS) de 80 metros de resolución, que adquiere imágenes en las bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. El segundo sensor es *Thematic Mapper*, de 30 (28,5 metros efectivos) metros de resolución, que recoge datos en siete bandas: azul, verde, rojo, infrarrojo cercano, dos infrarrojos medios y un infrarrojo térmico. A partir de Landsat 7, se posibilitó recibir una banda pancromática de una resolución de 15 metros. Los satélites Landsat operan en una órbita cuasi polar a una altura media de 918 Km. El satélite realiza un recorrido de una vuelta a la Tierra cada 103 minutos completando 14 órbitas por día con un desplazamiento orbital de unos 37 Km. De esta forma cubre la misma zona del planeta cada 16 días.

Las imágenes Landsat cubren una superficie de aproximadamente 180 por 180 kilómetros.

2.1.2 SPOT

El sistema SPOT (*Système pour L'Observation de la Terre*) es de origen francés en colaboración con Suecia y Bélgica y opera desde 1984. Una característica particular de este satélite es su capacidad de visada lateral que permite mayor continuidad de observación temporal y la visión estereoscópica por medio de la asociación de imágenes de dos tomas en órbitas distintas. El satélite opera en órbita cuasi polar a 832 Km sobre la tierra.

Los satélites SPOT llevan dos sensores de tipo *pushbroom* denominados *High Resolution Visible* (HRV), que operan en modo pancromático y multiespectral. En modo pancromático la resolución espacial es de 10 metros y en modo multiespectral es de 20 metros. A partir del 2002 el sistema SPOT ha incorporado el denominado sistema SPOT 4, con resoluciones de 10 y 2,4 metros respectivamente. En la actualidad se encuentra en órbita el Spot-5 con resolución espacial (pancromática) variable entre 2.5 mts. y 5 mts, así como una resolución en modo multiespectral con píxel de 10 mts.

Las imágenes SPOT cubren una superficie de aproximadamente 60 por 60 kilómetros.

2.1.3 NOAA

Estos satélites, de principal uso en monitoreo meteorológico, estudios oceanográficos, y /o estudios de carácter regional son de origen norteamericano y son operados por *U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). La resolución espacial del sensor que utiliza es de 1,1 Km y se usan principalmente para estudios de áreas extensas, tienen una alta resolución

temporal y un amplio cubrimiento espacial. Estos satélites son de órbita casi polar, se desarrollan a una altura de 805 km.

2.1.4 Ikonos y Quick Bird

El satélite Ikonos es de origen americano y fue lanzado por primera vez en el año 1999. Son el primer emprendimiento de origen privado (*Space Imaging Corporation*) para la captura y distribución de imágenes de alta resolución. El QuickBird en el año 2001, también es un emprendimiento privado de la empresa *Digital Globe*, empresa de origen americano que lanzó el satélite. Ambos compiten hoy por el mercado de imágenes de alta resolución.

2.2 Resoluciones

Se denomina **resolución** de un sistema sensor a la capacidad de registrar, discriminando información en detalle. La resolución de un sensor depende del efecto combinado de todas sus partes. El concepto de resolución implica al menos cuatro manifestaciones:

- **Resolución Espacial:** está dada por el tamaño del monoelemento de imagen o píxel (que designa la proyección del detector individual sobre la superficie terrestre). Tiene un papel protagónico en la interpretación de la imagen ya que marca el nivel de detalle que ofrece. El objeto más pequeño que pueda detectarse dependerá no sólo del tamaño del píxel sino de su reflectividad.
- **Resolución Espectral:** indica el número y ancho de las bandas que puede discriminar el sensor.
- **Resolución Radiométrica:** se refiere a la sensibilidad del sensor, a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe
- **Resolución Temporal:** es la frecuencia de cobertura del sensor, en otras palabras, la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de superficie.

En el siguiente Cuadro 2 es un resumen comparativo de las resoluciones de diferentes satélites y sensores remotos.

Cuadro 2 – Resoluciones de diferentes satélites y sensores remotos

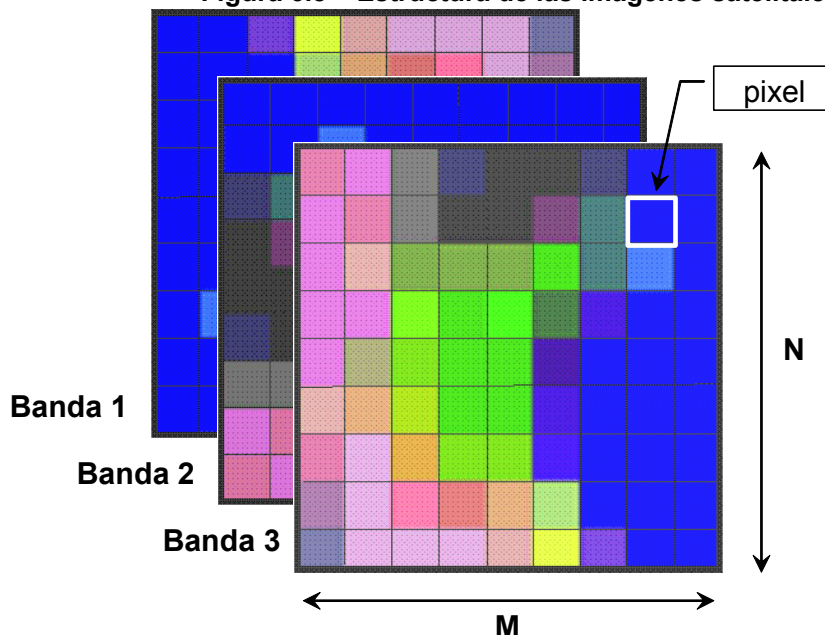
Satélite	Sensor	Resolución Espacial	Resolución Espectral	Resolución Temporal
LANDSAT 5	MSS	75 m	4 bandas	16 días
	TM	30m	7 bandas	16 días
LANDSAT 7	ETM+ (Multiespectral)	30 m	7 bandas	16 días
	ETM+ (Pancro)	15m	1banda	16 días
SPOT	Multiespectral	20m 10m (SPOT 5)	4 bandas	26 días
	Pancro	10m 5m (SPOT 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

No se puede dejar de mencionar otros satélites importantes para la observación de la Tierra tales como el EROS A de Israel (píxel 1.80m), IRS de la India (píxel 5.80m), JERS de Japón (píxel 18x24m), Orb-View, Formosat (píxel 2m), Terra (equipo Aster píxel 15m). el SAC-C argentino (píxel 35m, montado en un satélite de USA) y el C-BERS chino – brasilero (píxel 20m), y los satélites de radar RadarSat de Canadá, ERS (Agencia Espacial Europea) y la serie SIR A, B, C de USA

3 Imágenes satelitales

Una **imagen satelital** puede estar compuesta por mas de una imagen, cada una de las cuales corresponde a una **banda** espectral (Figura 6.8). Por este motivo se dice que la imagen satelital tiene una tercera dimensión: las bandas espectrales

Figura 6.8 – Estructura de las imágenes satelitales



Los formatos de entrega dependen del sistema (LandSat, SPOT, etc.) y del producto adquirido. Anteriormente se utilizaba en gran medida la cinta magnética como medio de almacenamiento debido al gran tamaño de los archivos (10 kilómetros cuadrados de imagen Ikonos corresponden a aproximadamente 1GB mientras que una imagen Landsat ocupa aproximadamente 350 Mb), pero hoy se suministran normalmente en CD.

En los proyectos que utilizan imágenes satelitales, más importante que saber cuál es el soporte físico en que serán almacenadas es saber cuál es el tamaño que ocupan. Todos los datos en computación se encuentran en formato binario, la unidad básica es un bit, el cual posee dos valores posibles "0" ó "1" ("on" u "off" respectivamente). Un conjunto de bits, sin embargo, puede representar muchos más valores, dependiendo del número de bits utilizados. El número de valores que pueden ser expresados por un conjunto de bits es 2 a la enésima (2^n), siendo "n" el número de bits utilizados. Un byte, corresponde a 8 bits de datos y generalmente el tamaño de los archivos y el espacio en disco están referidos al número de bytes. Por ejemplo, una computadora puede tener 640 kilobytes (1,024 bytes = 1 kilobyte) de memoria RAM (Random Access Memory), o un archivo puede necesitar 55,698 bytes de espacio en disco. Un megabyte (Mb) son casi un millón de bytes, y un gigabyte (Gb) son alrededor de un billón de bytes.

Para calcular el espacio en disco que ocupará una imagen raster convencional, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño del archivo de salida} = [(x.y.b).n] \cdot 1.2$$

donde: y = número de filas, x = número de columnas, n = número de bandas, b = número de bytes por pixel, siendo que el número de bites por píxel es: 0,5 (para datos de 4bit), 1 (para datos de 8bit) y 2 (para datos de 16bit).

El factor 1.2 agrega un 10% al tamaño del archivo por las capas piramidales (forma de manejar los zoom que permiten una visualización en pantalla más rápida de la imagen) y otro 10% para misceláneos como histogramas, tablas de especificaciones internas, etc.

4 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes comprende varios tratamientos que pueden ser aplicados sobre las imágenes, cada uno de los cuales tiene como objetivo destacar determinadas características. Para cada tratamiento, normalmente, se genera una nueva imagen la cual puede ser utilizada para interpretación con ventajas.

4.1 Correcciones radiométricas

El valor radiométrico registrado en cada pixel es la resultante de la energía reflejada la cual es influenciada por la curvatura de la tierra y por el relieve, las imprecisiones del sensor, la atenuación atmosférica o dispersión de la energía reflejada, entre otros.

Las correcciones radiométricas tratan de minimizar las influencias de estos factores y para ello utilizan modelos de corrección que modifican el valor de los píxeles. Las correcciones pueden aplicarse en toda la imagen o en parte de ella.

4.1.1 Realces

Los realces (*enhancement*) buscan un mejoramiento visual de la imagen y pueden realizarse de varias formas, aplicándolos en cada banda o en toda la imagen. El objetivo final del realce es obtener una nueva imagen que facilite la identificación de ciertos rasgos de interés y permita delimitarlos con la mayor precisión posible dentro de las limitaciones de la resolución espacial.

Al visualizar una imagen uno de los elementos más importantes es que la misma tenga brillo y contraste adecuados. Los procesos de **ajuste de contraste** tienden a adaptar la resolución radiométrica de la imagen (cantidad de colores) a la capacidad de visualización del monitor. Existe buen contraste cuando los colores que intervienen no tienen componentes en común y cada color tiende a sobresalir. Por el contrario, se puede buscar una armonía cromática al lograr que los colores tengan componentes en común, cambiando las tonalidades de los mismos y haciéndolas semejantes.

La Figura 6.9 muestra que el rango entre “j” y “k” en el histograma de los datos originales es casi un tercio del total. Cuando los mismos datos son mejorados radiométricamente, el rango entre

“j” y “k” se ha agrandado, por ello, los píxeles en esta zona ganaron contraste, ya que es más fácil de distinguir diferentes valores de brillo en ellos.

Sin embargo, los píxeles fuera del rango predeterminado se han agrupado aún más que en los datos originales para compensar la diferencia entre los valores entre “j” y “k” por lo que se ha perdido contraste entre píxeles de los intervalos (0 - “j”) y (“k” - 255).

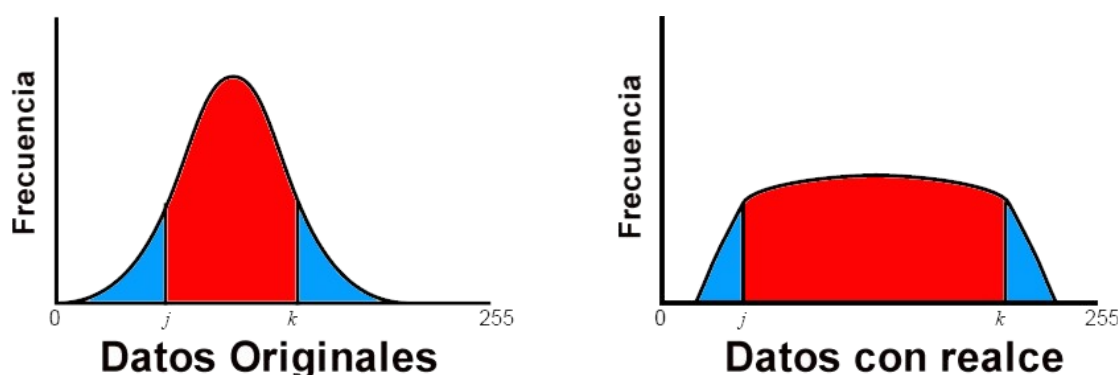


Figura 6.9 – Efectos del Realce⁵

Cuando se trabaja con imágenes multiespectrales se pueden utilizar diferentes combinaciones de bandas para resaltar diferentes objetos de la realidad. Si por ejemplo las bandas son:

Banda 1: Azul

Banda 2: Verde

Banda 3: Rojo

Banda 4: Infrarrojo

la combinación RGB 321 genera una imagen “color natural” (como si fuese una aerofotografía), mientras que la combinación en RGB 432 (*red, green, blue*) genera una imagen muy útil para resaltar la cubierta vegetal.

Otra forma de realzar la imagen es a través de la aplicación de **filtros**, los cuales tienen como principal característica suprimir o destacar determinados detalles a fin de mejorar el análisis visual. Los más utilizados son aquellos que resaltan los bordes y los que disminuyen los patrones de “ruido” en la imagen.

Hay que tener en cuenta que al aplicar un filtro sobre una imagen se está modificando el valor original de cada píxel de acuerdo a los valores de los píxeles que lo rodean. Esto implica una

⁵ Adaptado de *ERDAS Field Guide*, ERDAS Inc., England, 1996.

pérdida en la integridad de los datos originales razón por la cual normalmente se genera una nueva imagen con la imagen filtrada.

Básicamente existen dos tipos de filtros:

- **de paso bajo** (*low pass filter*), que acentúan los detalles de baja frecuencia para suavizar (*smoothing*) los ruidos y reducir picos de radiación y
- **de paso alto** (*high pass filter*), que enfatizan los detalles de alta frecuencia para realzar rasgos sin modificar las proporciones de la imagen de baja frecuencia, remarcado (*sharpening*) ciertos detalles.
- **de detección de bordes** (*edge detect*), que enfatizan los bordes que rodean elementos de igual valor radiométrico, dejando los valores internos en colores oscuros y los bordes en claros. Estos filtros permiten destacar claramente límites o perímetros de elementos y en el área urbana son ventajosos para detectar en imágenes de alta resolución límites de las construcciones, bordes de vereda y manzana, entre otros.

4.2 Correcciones geométricas

Las imágenes de satélite originales no cumplen con las características geométricas propias de un mapa o carta pues el punto de vista del no está en el infinito (aunque las alturas de obtención son superiores a las de alturas de toma de las fotografías aéreas) razón por la cual solamente un único rayo de energía electromagnética es ortogonal a la superficie del terreno, existiendo distorsiones en la enorme mayoría.

Las **correcciones geométricas** o modificaciones de proyección de una imagen permiten realizar los cambios necesarios para que los datos puedan ser utilizados en cartografía y consisten básicamente en la identificación y posicionamiento de los elementos muestrales en la imagen y en el terreno (o en otra imagen o carta georeferenciadas). Un aplicativo específico (normalmente incorporado a los SIG) transforma el sistema de coordenadas de la imagen original para el sistema de georeferenciamiento estipulado por el usuario.

Las distorsiones geométricas resultan de efectos internos (relacionados a los sensores) o externos (relativos a la posición de la plataforma de toma). De acuerdo a ello los factores que influyen en la falta de geometría de la imagen cruda pueden dividirse en dos tipos; fuentes de distorsiones geométricas internas y externas.

Las **distorsiones internas** son causadas por imperfecciones de las lentes, lecturas no lineales del barreador o falta de linealidad en el movimiento en el espejo (en el caso de receptores de barrido de estado sólido).

Las **distorsiones externas** son producidas por las variaciones en la actitud de la plataforma (rolido, cabeceo, deriva), altitud, y efectos de la escena como rotación y curvatura de la Tierra. La proyección utilizada para representar en forma plana a la superficie terrestre, tal como la Proyección Transversa Universal de Mercator - UTM (*Universal Transversal Mercator*) es considerada frecuentemente como parte de las compensaciones de distorsiones externas.

En ese contexto, para corregir los datos digitales de los sensores deben determinarse los errores internos y externos. Cuando los parámetros son conocidos pueden desarrollarse una función que permita corregir los datos originales mediante la determinación de la geometría externa a partir de precisas mediciones de la actitud de la plataforma o de información de la imagen.

Puntos de control medidos en el terreno se usan para proveer información geométrica externa precisa. Los puntos de control son objetos naturales o artificiales identificados en la imagen y en el terreno, de los cuales se conocen su posición planialtimétrica con precisión. La buena distribución y correcta medición de un número significativo de puntos de control en la escena determina la calidad geométrica de la imagen corregida.

En el proceso de transformación el dato de entrada es una imagen que representa una proyección perspectiva geoméricamente distorsionada de la superficie terrestre. La salida es una imagen en proyección geoméricamente corregida de la misma área.

4.3 Georreferenciación

La georreferenciación se refiere al proceso de asignar coordenadas específicas de un sistema de referencia de coordenadas de ubicación geográfica a una imagen. Las imágenes pueden ya contener una proyección al plano deseada, pero no necesariamente estar referenciada a un sistema de coordenadas apropiado.

La rectificación es un proceso que incluye la georreferenciación ya que todos los sistemas de proyección están asociados a un sistema de coordenadas. La georreferenciación por si sola incluye el cambio de la información sobre las coordenadas en la imagen, por lo que la grilla raster de la imagen y su identidad no se ve afectada por ninguna modificación.

Un sistema de coordenadas que posea latitud y longitud no estará asociado a un sistema de proyección de un mapa puesto que expresa ubicaciones sobre un esferoide y no sobre un plano. Por este motivo generalmente no se rectifica una imagen a un sistema de coordenadas geográficas de latitud y longitud.

La rectificación es necesaria en los casos en que la grilla de píxeles deba ser modificada para encajar en un sistema de coordenadas planas determinado. Hay distintas razones para rectificar y entre ellas pueden mencionarse la necesidad de:

- comparar los mismos píxeles de imágenes diferentes para detectar cambios,
- desarrollar datos GIS basados en la imagen,
- superponer la imagen con cartas vectoriales,
- realizar mosaicos de imágenes,
- realizar cualquier otro análisis que requiera precisión en su ubicación geográfica.

Antes de rectificar los datos, es necesario determinar un sistema de coordenadas y la elección dependerá de que tan grande sea el área de interés de la imagen, en que lugar de la Tierra se encuentra, como es la forma y orientación de la imagen, entre otros.

La rectificación solamente es necesaria si existe algún tipo de distorsión en la imagen. Así, en imágenes provenientes de mapas papel escaneados o digitalizados no necesitaran ser rectificadas ya que de por si ya son planos (a menos que se haya rotado o inclinado). Este tipo de imágenes solamente necesita ser georeferenciada ya que no poseen un sistema de coordenadas asociado, proceso que es mucho más simple y puede ser llevado a cabo con el sólo conocimiento de la coordenada de una de las esquinas de la imagen y el área o tamaño que representa cada píxel. La Figura 6.10 muestra el resultado de una georeferenciación.

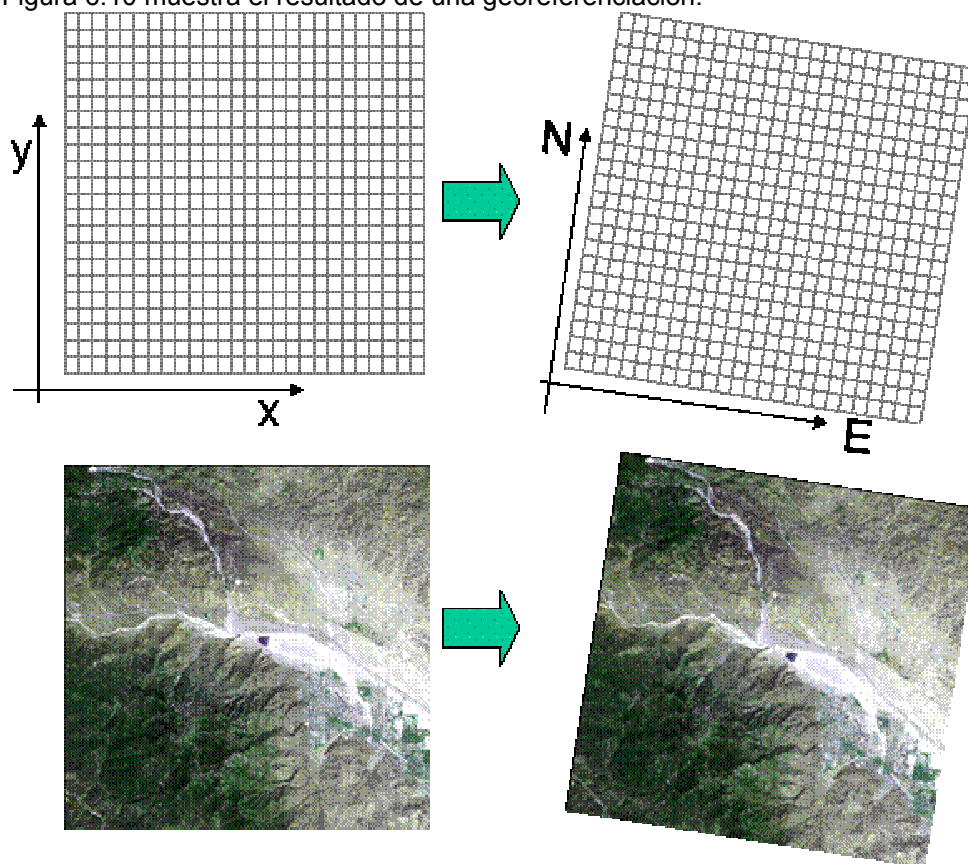


Figura 6.10 – Georeferenciación de imágenes

Al rectificar pueden surgir problemas ya que los valores radiométricos de cada píxel deben ser re localizados en una nueva grilla de filas y columnas de píxeles. Sin embargo, existen ciertos algoritmos para calcular esos valores en forma más que confiable (aunque puede existir cierta pérdida de integridad espectral). Esto significa que una imagen no rectificada es más correcta espectralmente.

4.4 Ortorrectificación de Imágenes

La orrorrectificación es el proceso que permite eliminar la influencia de imoerfecciones geométricas propias de las fotografías aéreas o de las imágenes satelitales generadas por la orientación de la cámara o sensor, la existencia errores sistemáticos asociados a la cámara o sensor, desplazamientos por el relieve topográfico o la curvatura terrestre.

Los parámetros asociados con la cámara o el sensor pueden ser fácilmente definidos. Los relacionados con la curvatura de la Tierra estarán muy asociados al tamaño de la imagen o área de cobertura. Los desplazamientos derivados del relieve son “eliminados” mediante la utilización de un Modelo de Elevación Digital del área (DEM) durante el proceso de la orrorrectificación.

La orrorrectificación se basa en ecuaciones co-lineales que pueden derivar de puntos de control en el terreno en tres dimensiones. En áreas relativamente planas la orrorrectificación no es necesaria, pero en áreas montañosas, o en imágenes o fotografías aéreas de alta resolución que incluyan edificios se recomienda la orrorrectificación.

Una vez que la orrorrectificación es realizada, cada píxel contendrá fidelidad geométrica. Aquellas medidas tomadas de una imagen ortorectificada corresponderán a las “mismas” medidas tomadas sobre la superficie de la Tierra directamente (con las comprensibles diferencias provenientes de la resolución espacial de la imagen).

5 Confección de Cartografía urbana con imágenes

Si la precisión requerida en la cartografía lo permite, es decir: la escala de trabajo o las necesidades del trabajo no requieren mayores precisiones, o en ausencia de cartografía precisa y ante la imposibilidad económica de confeccionar una cartografía base de precisión por Fotogrametría, las imágenes de satélite de alta resolución son una alternativa cada vez más válida para la confección de cartografía.

El método consiste en digitalizar los rasgos cartográficos a partir de la imagen digital reproducida en el monitor de la computadora. En forma adecuada en cuanto al manejo de la escala de la imagen en pantalla, se puede seguir con un cursor y el movimiento de un ratón electrónico los rasgos cartográficos visibles en la imagen y grabar la información de las coordenadas de puntos, líneas, o polígonos de los rasgos cartográficos. Este proceso se realiza con software específico y adecuado como ser programas CAD o GIS.

Previamente a la digitalización, se debe realizar una planificación de cómo van a ser agrupados los rasgos geográficos en capas de información en concordancia con la base de datos espacial.

Es además necesario que se proceda al georreferenciamiento de la imagen y es normal que se trabaje (si nos falta software específico para la explotación de la imagen) con una imagen ortorrectificada a partir de un DEM.

La información obtenida deberá ser complementada por la información cultural que debe contener una carta, como límites territoriales (límites de parcelas, regiones administrativas, etc.), toponimia, etc.

Las técnicas que han sido reseñadas, son propias de disciplinas específicas y estudios adecuados y deben ser realizadas con una cuidada planificación y ejecución por profesionales especialmente entrenados en la confección de cartografía digital.

Probablemente, la más adecuada y usada de las aplicaciones de las imágenes en cuanto a cartografía y catastro de las imágenes a nivel urbano es la actualización cartográfica. La imagen satelital, en forma económica y eficiente permite en comparación con otras imágenes o con cartografía en formato digital anterior detectar los cambios producidos en el terreno. Es sumamente útil para detectar ampliaciones de construcciones no declaradas, construcciones nuevas, cambios en general. A partir de la identificación en la imagen se puede dirigir acciones específicas de levantamiento topográfico clásico para la incorporación a la cartografía.

6 Cartografía y Explotación semántica

6.1 Utilización de la Teledetección para la confección de Cartografía Urbana

6.1.1 Escalas cartográficas y vinculación con la resolución espacial de las imágenes

La teledetección comprende a la fotogrametría y a las imágenes obtenidas por satélites. Cabe destacar que los desarrollos principales de la fotogrametría están dirigidos a la confección de cartografía como método alternativo económico y que reemplaza efectivamente a la Topografía clásica de visita directa al terreno.

La Fotogrametría es útil, del punto de vista económico, cuando se puede aplicar a un uso extensivo donde puede haber una economía de escala en comparación a los costos de la Topografía clásica. En general no se usa para el mantenimiento de datos, tarea que es conveniente realizarla día a día, con métodos topográficos tradicionales.

No podemos dejar de mencionar a la Fotointerpretación, que si bien usa o puede usar el mismo material fotográfico y algunos conceptos comunes, tiene un cuerpo de conocimientos diferente y propio y constituye en sí mismo otra especialidad.

La Fotointerpretación está basada, como dijimos anteriormente, en la explotación semántica de los documentos fotográficos obtenidos por cámaras aéreas (y ahora, además, por imágenes digitales adquiridas desde satélites). Su desarrollo y origen está y estuvo ligado íntimamente a los estudios estratégicos y tácticos propios de las confrontaciones bélicas. A partir de la mayor resolución de las imágenes de satélite, se extiende el campo de la fotointerpretación al material proveniente de satélites.

6.1.2 Escalas de utilización de las diferentes técnicas

En el siguiente cuadro tratamos de establecer los campos de utilidad de la topografía clásica, la fotogrametría y la teledetección satelital en cuanto a las escalas de trabajo de los documentos cartográficos buscados como resultado. También describimos aquellas zonas de utilidad para el trabajo en ambiente urbano.

Métodos posibles	Escalas	Error admisible	Sensor	Observaciones
Teledetección	1:100.000	20 a 30 mts.	Imágenes Landsat (30 m)	
Fotogrametría Teledetección	1: 50.000	10 a 15 mts.	Imágenes SPOT (20m) y pancromática Landsat (15m)	Selección por precio, extensión de la zona de trabajo u otros factores
Fotogrametría Teledetección Topografía Clásica	1: 25.000	5 a 7,5 mts.	Imágenes SPOT pancromáticas (10 m). Ikonos (4m)	Selección por precio y extensión de la zona de trabajo u otros factores
Fotogrametría Teledetección Topografía Clásica	1: 10.000	2 a 3 mts.	Ikonos (1 m) QuickBird (0.64m)	Selección por precio y extensión de la zona de trabajo u otros factores
Fotogrametría Teledetección Topografía Clásica	1: 5.000	1 a 2 mts.	Ikonos (1 m) QuickBird (0.64m)	Selección por precio y extensión de la zona de trabajo u otros factores.
Fotogrametría Topografía Clásica	1: 2.000	0,4 a 0,6 mts.		Selección por precio y extensión zona de trabajo u otros factores
Fotogrametría Topografía Clásica	1: 1.000	0,2 a 0,3 mts.		Selección por precio y extensión zona de trabajo u otros factores
Fotogrametría Topografía Clásica	1: 500	0,1 a 0,15		Límite de la Fotogrametría
Topografía Clásica	1: 250	0,05 a 0,075		

Límite de la Teledetección ???

El planteo del aprovechamiento límite de la teledetección en las escalas 1:10000 o 1:5000 merece algún comentario:

1. en estas escalas es donde la precisión que interesa para la generación de cartografía ya no es la precisión de posicionamiento del píxel, sino la precisión con que, con ese tamaño de píxel, garanticemos la **detección** de todo tipo de detalles de interés para la escala de cartografía que buscamos generar.
2. la detectabilidad de muchos detalles del terreno principalmente alineaciones, como sendas, banquetas, etc. depende de la posición de éstos respecto de la matriz de detectores, por lo que pueden llegar a desaparecer en casos especiales. Creemos que ello no traería dificultades en escalas hasta 1:10000.
3. Es por ello que siendo la tendencia el uso cada vez mayor de imágenes satelitales para la generación de cartografía 1:5000, también se es consciente que debemos estudiar cuidadosamente las características geométricas del sistema para saber en qué direcciones su aprovechamiento cumplirá las normas de precisión.
4. También cabe aclarar que se está hablando del aprovechamiento planimétrico de la cartografía urbana, dado que para obtener alturas el uso de las imágenes de satélite se está limitando a escalas como 1:25000, con estudios realizados para escalas mayores.

La zona pintada de amarillo comprenden las escalas cartográficas de mayor utilidad en el ambiente urbano. Las escalas menores a 1:25.000, en la práctica, son utilizadas como planos de ubicación o de referencia para el ambiente urbano.

Notas importantes:

Los valores de la tabla son indicativos. Se debe estar atento a los avances tecnológicos y los consecuentes cambios en la resolución de los sensores.

Se debe tomar en cuenta otros factores (metereológicos, época de toma, relieve topográfico) que suman errores y disminuyen la precisión a los valores de píxel expresados por los proveedores de imágenes.

Queremos destacar que el error admisible que hemos considerado puede ser considerado distinto para cada país (en función de sus normas cartográficas). En este cuadro se tomó 0,2 mm a 0,3 mm como error admisible en el plano.

6.2 Clasificación de Imágenes

Una clasificación multispectral es el proceso que agrupa píxeles en un número finito de clases individuales (o categorías de información) basado en sus propios valores. Si el valor de un píxel satisface ciertos criterios se le asigna el (nuevo) valor correspondiente a la clase reúne los citados criterios.

La clasificación se basa en asumir que un fenómeno en la imagen tiene correspondencia en el terreno, es decir que una misma clase de objetos en el terreno tiene características espectrales similares (misma firma espectral).

Hay dos aproximaciones para realizar la clasificación: la **clasificación supervisada** y la **clasificación no supervisada**, siendo que en ambos casos el resultado del procesamiento debe ser comprobado en el terreno.

En ambos casos el resultado cartográfico es una nueva imagen que puede ser considerada una carta temática en la cual cada clase tiene un valor y un color.

6.2.1 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada trabaja a partir de datos veraces del terreno obtenidos por observación directa, los cuales se usan para determinar los parámetros iniciales usados en la clasificación. A cada clase a ser cartografiada (agua, áreas densamente construidas, espacios verdes, etc.) se le asigna un nombre y un color. Un especialista trabaja sobre la pantalla del monitor e identifica lugares que contienen las clases de objetos buscados y color y marca un pequeño círculo sobre la imagen. El aplicativo calcula los valores espectrales de cada círculo y a posteriori determina y busca de forma automática o manual la misma firma espectral en toda la imagen. En este proceso cada píxel de la imagen es clasificado de acuerdo a la probabilidad de pertenencia a una clase en particular. Se pueden aplicar diferentes métodos estadísticos para asignar valores a los píxeles de las clases, inclusive clasificaciones de contexto que toman en cuenta los valores de los píxeles vecinos.

6.2.2 Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada no requiere una visita previa al terreno. Comienza con la aplicación de un procedimiento matemático estadístico in-supervisado mediante el cual la computadora halla valores de píxel que tienen la misma característica, los clasifica y forma grupos (*clusters*). El procedimiento analítico empleado es interactivo y comprende los siguientes cuatro pasos:

- para cada cluster se le asigna un valor que corresponde a su centro.
- cada píxel en una imagen es ubicado dentro del cluster de acuerdo al valor mas cercano
- cuando todos los píxeles de una imagen han sido asignados a un cluster, se calculan nuevos centros a partir de los píxeles que forman el cluster

- se repiten los pasos 2 y 3.

El proceso para cuando los cluster no tienen cambios significativos entre las sucesivas iteraciones. Los clusters son entonces nombrados y se les asigna un color y a posteriori en el campo se realizan las observaciones para ajustar los cluster a los fenómenos del terreno.

Luego de la anterior introducción, ahora nos debe ocupar el rol que juegan los Sensores Remotos en la obtención de información para cubrir las necesidades anteriores. Básicamente interpretamos que entran en juego en dos aspectos o áreas principales en que se desarrolla la información sobre el territorio.

- 1) La utilización de las imágenes (fotogramétricas o satelitales) para elaborar y/o actualizar la cartografía.
- 2) El uso de las imágenes para la explotación semántica (interpretativa) de la imagen.

La clasificación anterior es clara y conocida en términos de las imágenes fotográficas. La explotación de las imágenes fotográficas para la construcción de cartografía es el campo de la Fotogrametría y la explotación semántica es el campo de la Fotointerpretación.

Hasta ahora Fotogrametría y Fotointerpretación en base a fotografías convencionales eran técnicas excluyentes para cubrir las necesidades de detalle propia de la información urbana. En contraposición; el uso de las imágenes quedaba relegado al uso rural o a escalas gráficas pequeñas de uso en estudios regionales.

Con la disponibilidad de las imágenes de satélite de alta resolución, el uso de imágenes para la construcción de información urbana nos abre un nuevo panorama que debemos investigar y desarrollar.

Al igual que su hermanas: la Fotogrametría y la Fotointerpretación, los fines a perseguir son los mismos: la posibilidad de realizar Cartografía y la explotación semántica de las imágenes.
