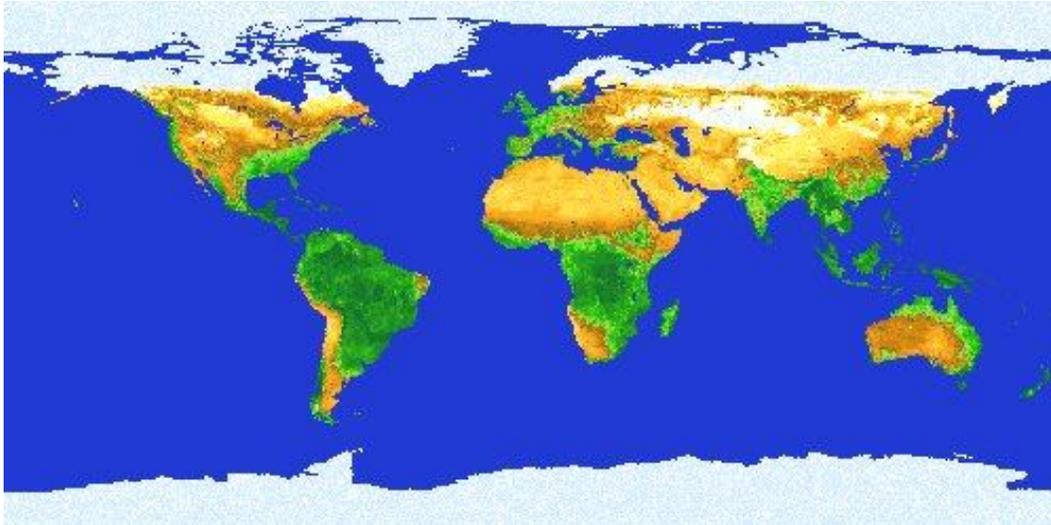


# PROCESAMIENTO DIGITAL DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

## APLICACIÓN PRÁCTICA CON CARTOGRAFÍA E IMÁGENES DE SATÉLITE

### PRESENTACIÓN

---



www.spotimage.fr

*...acerca del acceso a la información geográfica...<sup>1</sup>*

Entre las siglas que definen a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a nuestro juicio, resulta evidente que la palabra más importante es la central, esto es la Información, puesto que el término Geográfica no es más que un calificativo de ésta, y el de Sistemas puede aplicarse a otras muchas aplicaciones informáticas.

Los SIG, en definitiva, son herramientas para la mejor gestión de la información disponible sobre el territorio.

Así pues, si la información almacenada en un SIG no es suficientemente fiable, está desactualizada o es incompleta, de nada sirve contar con un soporte informático muy poderoso, pues ese SIG será de poco provecho para la solución de los problemas reales que afectan a las personas de un determinado territorio.

Los SIG sin información de suficiente calidad son únicamente fuegos artificiales, vistosos pero inútiles.

En definitiva, resulta imprescindible que las capas de información que integren un determinado SIG (litología, relieve, suelos, datos climáticos, hidrografía, vegetación, cultivos, datos censales, datos catastrales, datos socio-económicos, etc.) tengan la resolución y el nivel de fiabilidad adecuado, y estén debidamente actualizadas.

Puesto que estas variables son comúnmente generadas por distintas agencias o instituciones, que, a su vez, pueden haber contratado el trabajo a múltiples intérpretes,

---

<sup>1</sup> Basado en: Chuvieco Salinero E. (2002) Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio.

la integración de esas variables en el SIG puede ser muy compleja, tanto desde el punto de vista temático como geométrico.

En consecuencia, no sólo es necesario que exista una buena información geográfica, sino también que pueda integrarse en una base de datos coherente.

Esto implica coordinación, tanto entre los diversos grupos que han generado cada variable en el seno de una institución, como también entre las distintas instituciones con responsabilidades cartográficas.

Con mucha frecuencia, ambos aspectos no se garantizan adecuadamente, lo que dificulta considerablemente la operatividad de un SIG.

Por un lado, pueden faltar determinados inventarios cartográficos vitales para la planificación; por otro, en muchas ocasiones se duplican esfuerzos y presupuestos, ya sea porque la información generada por los organismos no resulta intercambiable, porque no se han arbitrado canales apropiados para la distribución pública de esa información, o simplemente porque no se conoce.

La Teledetección o Percepción Remota -entendida como una técnica que utiliza de sensores para la adquisición de datos sobre objetos o fenómenos a distancia, es decir, sin que haya ningún tipo de contacto directo entre el sensor y los objetos-, por sí sola no puede resolver los problemas mencionados, pero puede contribuir a paliarlos al facilitar datos de libre adquisición, en formatos estándares, y plenamente actualizados.

Las ventajas de la teledetección como fuente de datos se centran principalmente en la obtención de variables para inventarios cartográficos, en la actualización de información ya generada, y en los estudios de procesos dinámicos.

Comprendiendo el alto costo de generar información geográfica de calidad, la inversión en imágenes de satélite puede justificarse plenamente, sin olvidar que en muchas ocasiones lo verdaderamente caro es no disponer de la información necesaria para tomar decisiones cuando resulta imprescindible hacerlo (como en situaciones de emergencia o desastres).

Existen diversos medios para generar información geográfica, desde el tradicional trabajo de campo (insustituible todavía en muchas ocasiones), hasta los sensores terrestres (medidores de temperatura, humedad o contaminación atmosférica, estaciones de aforo, etc.), sistemas de posicionamiento global (GPS) y teledetección aérea o espacial.

Todos ellos son medios necesarios, que convendrá seleccionar en función de la variable que quiera obtenerse y de los propios requisitos del trabajo (objetivos, presupuesto, tiempo de obtención, fiabilidad requerida, etc.).

# PROCESAMIENTO DIGITAL DE INFORMACIÓN TERRITORIAL

## APLICACIÓN PRÁCTICA CON CARTOGRAFÍA E IMÁGENES DE SATÉLITE

### I. DATOS E INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

---



<http://terra.nasa.gov> - [www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar) - <http://www.spaceimaging.com> - <http://earthobservatory.nasa.gov/study/lidar>



*... acerca de las fuentes de datos y los métodos de captura...<sup>2</sup>*

#### 1. Definiciones

En primer lugar, se debe distinguir entre datos, información y conocimiento. Los datos son la representación concreta de hechos y constituyen el antecedente necesario para el conocimiento de un fenómeno. Un juego de datos interrelacionados forma una base de datos, que puede ser almacenada en formato analógico o digital.

La información se obtiene de la base de datos para una finalidad determinada y es fruto de un proceso interpretativo conducido por el usuario que añade valor. La información no surge por sí misma en la base de datos, sino que debe ser obtenida a través de varios medios, habilidades o técnicas basados en nuestro conocimiento (Comas, 1993).

---

<sup>2</sup> Basado en: UNIGIS España (1999) Adquisición y entrada de datos espaciales.

## 2. Fuentes de datos

Algunas de las fuentes utilizadas para captura de datos territoriales son:

- Cartografía
- Datos de Teledetección
- Informes estadísticos
- Bases de datos
- Datos de campo
- Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)
- Modelos numéricos del terreno

Una de las principales ventajas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha sido su capacidad para reunir diferentes tipos de datos. Esto permite derivar nuevos niveles de información y proporcionan una visión diferente sobre el tema analizado.

Sin embargo, esta capacidad de los SIG representa a su vez un problema debido a que los datos pueden llegar a ser muy diferentes entre sí, escasos y costosos. Además, la situación se complica cuando se consideran otras restricciones, tales como: no se puede trabajar con cualquier tipo de dato, éstos deben cumplir ciertas especificaciones técnicas y criterios de calidad (escala, período temporal, cobertura del área de interés, etc.).

La adquisición de datos resulta habitualmente muy costosa y en contrapartida la disponibilidad de recursos para obtenerlos muchas veces es limitada. Así mismo, conseguir los datos consume bastante tiempo y generalmente se tiene una fecha límite que hace inviable esperarlos demasiado.

Por lo tanto, al construir un Sistema de Información Geográfica se necesita adquirir una gran habilidad para encontrar y obtener datos, y en más de una oportunidad, la carencia de los mismos obliga a repensar los objetivos trazados en un primer momento.

### 2.1. Cartografía

La Cartografía tiene la capacidad de poder darles a los fenómenos que están presentes en un espacio la posibilidad de localizarlos, establecer su dimensión y límite, abriendo de esta manera todo un campo como fuente de datos, así como herramienta analítica y prospectiva para el estudio del territorio y de los fenómenos que allí se dan.

De esta manera la cartografía pasa a constituirse en un instrumento que es capaz de memorizar, tratar, presentar, de una forma inmediata y global, un fenómeno o un grupo de fenómenos en sus relaciones con el espacio. Ello se aplica para todos los fenómenos espaciales, tanto a los objetos reales como a los conceptos abstractos de todo orden. De ahí la premisa de que “todo fenómeno localizable es susceptible de ser cartografiado”.

Así, es posible establecer al menos tres funciones esenciales que la cartografía cumple en el quehacer de los analistas del espacio para representar los fenómenos que son de su interés:

- **Inventario o referencia.** La cartografía de característica descriptiva es una fuente de documentación, base indispensable en toda acción sobre el territorio; como las cartas topográficas (Figura I.1) y como en las cartas temáticas, concretas y reales, hasta abstractas.
- **Investigación o experimentación.** Estas cartas prospectivas o de exploración son, ante todo, documentos de trabajo, orientadas a formular modelos prospectivos fundados en la información que se tiene del pasado, la probabilidad de transformación y la analogía con fenómenos conocidos.
- **Explicación o correlación.** Este tipo de cartas son un medio de síntesis. Así mismo son asociativas, es decir, presentan el fenómeno estudiado en función de las relaciones mutuas de sus variados componentes, por lo que son al mismo tiempo analíticas y sintéticas de un determinado proceso, como los atlas temáticos a diversas escalas referidos a un tema común.

Los mapas digitalizados constituyen una fuente de datos relativamente conveniente para introducir datos geográficos existentes en un sistema de información geográfica (SIG). El inconveniente puede radicarse en que la información habitualmente es obsoleta, y los errores y las inexactitudes de los mapas se reproducen en el formato digital.

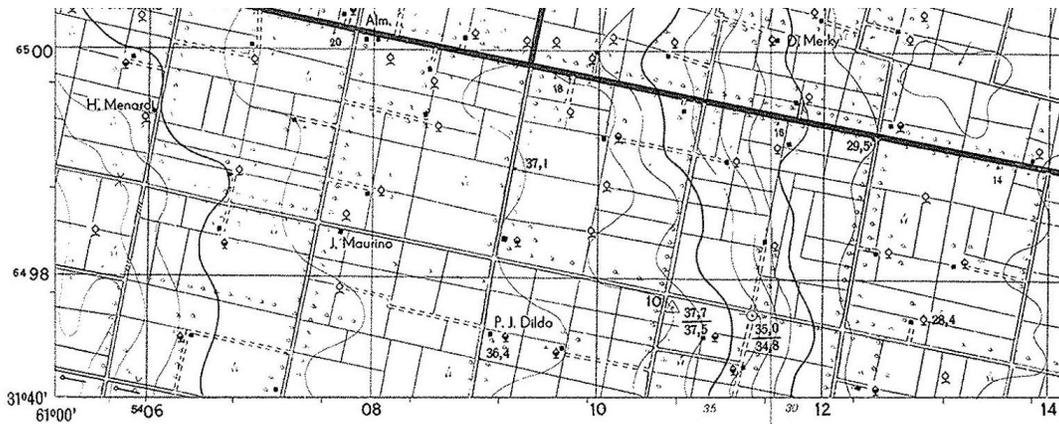


Figura I.1. Datos que presentan las cartas topográficas en escala 1:50.000 IGM.

## 2.2. Datos de Teledetección

Los datos de Teledetección corresponden a las imágenes tomadas desde una perspectiva aérea por un sensor a bordo de un avión o de un satélite. Este tipo de datos han sido utilizados principalmente para obtener cartografía básica o temática de la superficie terrestre.

La primera fuente de datos de este tipo fue la fotografía aérea, que a principios del siglo pasado se integró con procedimientos cartográficos, y aún hoy es una fuente de datos irremplazable para cartografía en escala grande (por ejemplo 1:1000) como las que se emplean en un catastro urbano.

Sin embargo, en la última década del siglo pasado las fotografías aéreas fueron reemplazadas paulatinamente por las imágenes de satélite en lo que respecta al estudio de los recursos naturales, cuencas hídricas, suelo, vegetación y uso del suelo.

### 2.2.1. Fotografía Aérea

Las fotografías aéreas han sido tradicionalmente documentos analógicos, sin embargo, a fines del siglo pasado surgieron las cámaras aéreas digitales que permitieron obtener fotografías en formato digital (Figura I.2).

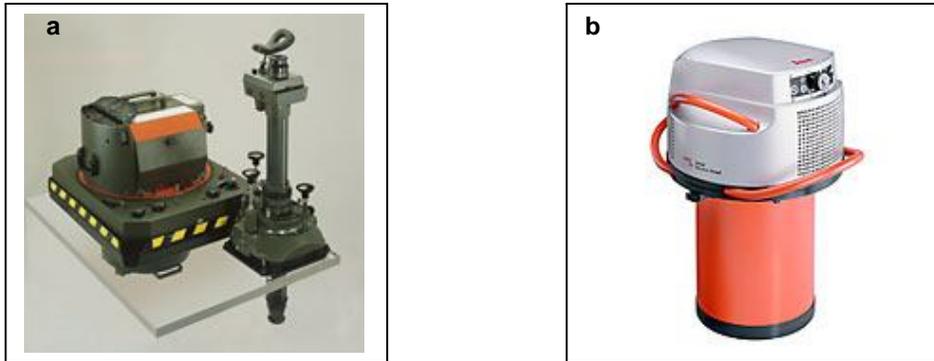


Figura I.2. Cámaras aéreas: a) analógica Leica RC30. b) Digital Leica ADS40 .

En el caso de la fotografía analógica, la cámara captura la imagen a través de su impresión en una película sensible, que luego es reproducida en formato papel. Históricamente se han empleado dos tipos principales de películas para las fotografías aéreas, denominadas pancromática e infrarroja. La Figura I.3 muestra como ejemplo una comparación entre una película pancromática y una infrarroja.

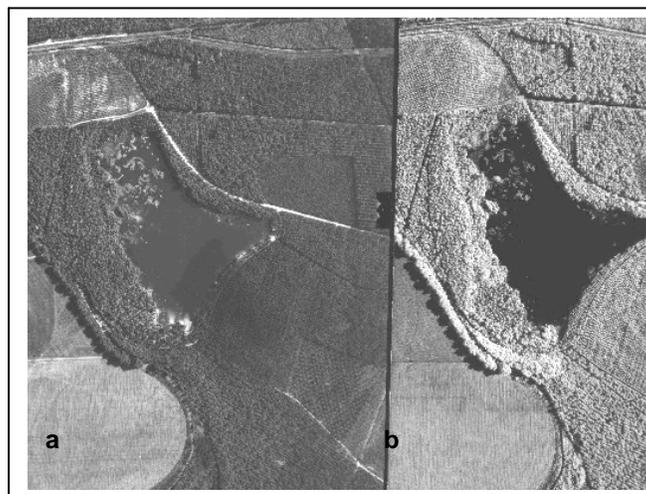


Figura I.3. a) Película pancromática. b) Película infrarroja.

La diferencia entre ambas está dada por su sensibilidad a distintas longitudes de onda, por ejemplo, la película pancromática es afectada por ondas que tienen una longitud comprendida entre los 0,4  $\mu\text{m}$  (micrómetros) y los 0,7  $\mu\text{m}$ . Es decir, solo registra la radiación reflejada desde la superficie terrestre correspondiente a la porción del espectro electromagnético denominada luz visible.

En el caso de la película infrarroja su sensibilidad es mayor debido a que abarca desde los 0,4  $\mu\text{m}$  hasta los 0,9  $\mu\text{m}$ . Por lo tanto, en este último caso la película es afectada tanto por las longitudes de onda pertenecientes al visible como por las del infrarrojo cercano.

La mayor parte de las fotografías aéreas, tanto pancromáticas como infrarrojas, son en blanco y negro debido a su menor costo. Sin embargo, existen también las películas pancromáticas en color y las infrarrojas en falso color. En las mismas se emplean diferentes capas de emulsión sensibles a las distintas longitudes de onda consideradas. Según sea la película utilizada, las fotografías aéreas pueden ser empleadas en diferentes aplicaciones, tales como:

**Fotografía aérea Pancromática.** Es ampliamente utilizada para fines catastrales, relevamientos planialtimétricos, confección de mapas, etc. (Figura I.4).

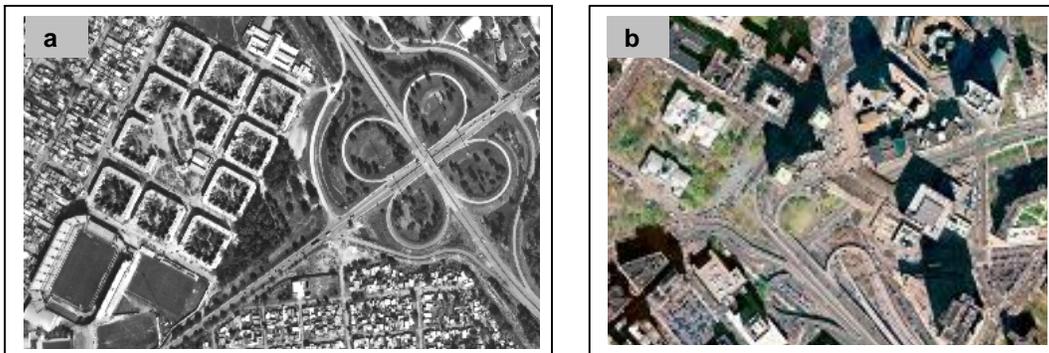


Figura I.4. Fotografías aéreas pancromáticas: a) Blanco y negro. b) Color.

**Fotografía aérea Infrarroja.** Es generalmente utilizada para estudiar el vigor de la vegetación, identificar coníferas, detectar camuflajes, etc. (Figura I.5).

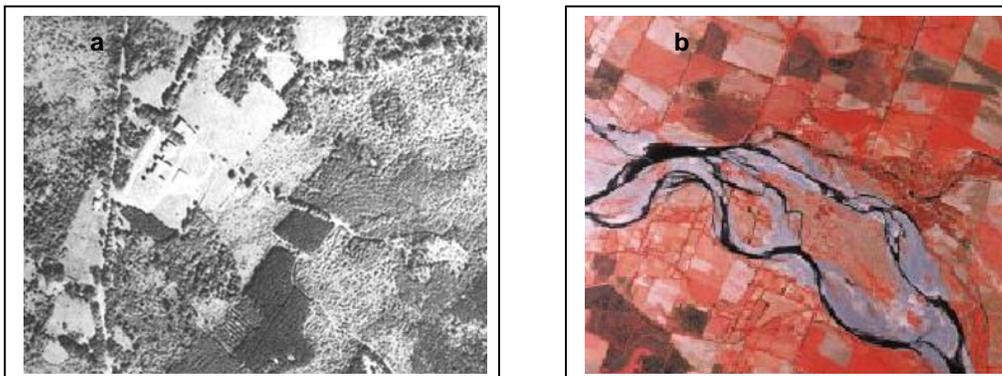


Figura I.5. Fotografías aéreas infrarrojas: a) Blanco y negro. b) Falso color.

Por último podemos mencionar la denominada fotografía aérea panorámica.

Como en el caso de las anteriores, este tipo de fotografía aérea es tomada desde una perspectiva aérea, sin embargo, en este caso la toma de la fotografía no coincide con la vertical, es decir, la cámara aérea no está apuntando verticalmente hacia el suelo sino que está inclinada hacia un costado apuntando al horizonte.

Este tipo de fotografía aérea, conocida también como fotografía oblicua, se emplea generalmente con fines publicitarios, educativos o para la evaluación de progresos de obras (Figura I.6).



Figura I.6. Fotografías aéreas panorámicas u oblicuas.

### 2.2.2. Imágenes de satélite

Son obtenidas por sensores electro-ópticos instalados en satélites. Estas imágenes representan formas de captura indirecta de los datos espaciales. Almacenadas como matrices, cada elemento de imagen (denominado "píxel") tiene un valor proporcional a la reflectancia del terreno para el área de la imagen.

En una imagen digital el tamaño que representa cada píxel de la matriz en el terreno está dado por la menor superficie que puede ser observada instantáneamente por el sensor, éste se conoce como resolución espacial.

El número de valores que puede contener cada píxel de la imagen está en función de la capacidad del sensor de distinguir variaciones de la reflectancia proveniente de la escena observada, también llamado resolución radiométrica.

Las imágenes digitales contienen a menudo valores digitales entre 0 y 255. Cada píxel de la imagen posee uno de estos valores el cual es representado en la pantalla del monitor como un tono de gris.

Entonces los píxeles que posean el valor 0 aparecerán negros y los que tengan el 255 serán blancos. Los demás se presentarán en toda la gama de grises comprendida entre estos dos extremos (Figura I.7).

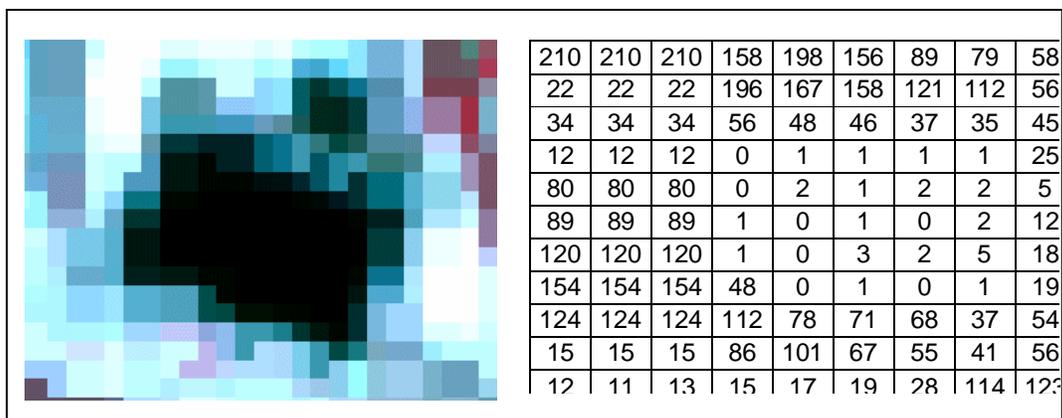


Figura I.7. Imagen satelital (izq.) y la matriz numérica resultante (der.).

Debido al tipo de proceso aplicado para la adquisición de imágenes, los objetos de interés sobre la superficie terrestre están contenidos en la imagen y para individualizarlos, es necesario aplicar técnicas de interpretación visual de imágenes o técnicas de clasificación automática.

Las características más importantes de las imágenes de satélite son: el número de bandas del sensor correspondientes a las distintas franjas del espectro electromagnético (resolución espectral), el área de la superficie terrestre observada instantáneamente por cada sensor (resolución espacial) y el intervalo entre dos observaciones del satélite del mismo lugar (resolución temporal).

La Tabla I.1 muestra las características generales de los principales satélites y sus respectivos sensores disponibles en la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).

Tabla I.1 - Características de satélites y sensores

Satélite	Sensor	Resolución espectral	Resolución espacial	Resolución temporal
LANDSAT	TM	7	30 m	16 días
	ETM	8	30 y 15 m	16 días
SPOT	XS	3	20 m	26 días
	PAN	1	10 m	26 días
SAC-C	MMRS	5	175 m	16 días
NOAA	AVHRR	5	1100 m	6 horas
RADARSAT	SAR banda C	1	25 m	25 días

Las imágenes de satélite no sólo ofrecen una visión única de los recursos naturales, sino que también muestran la degradación a la que son sometidos por las actividades humanas. La teledetección satelital ha demostrado ser una fuente de datos valiosísima para numerosas aplicaciones, tales como: planeamiento urbano, monitoreo del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, desarrollo de mercados, etc.

El número de aplicaciones que pueden efectuarse a partir del uso de las imágenes de satélite continúa aumentando a medida que se lanzan nuevos satélites, que se suman a los ya existentes.

Esto favorece la disponibilidad creciente de imágenes con diferentes tamaños de escena y distintas resoluciones espectrales, espaciales y temporales. Esta abultada oferta obliga a los usuarios a analizar detalladamente cada producto en función de los objetivos perseguidos.

Las ventajas de las imágenes de satélite son:

- **Visión global.** Los satélites no están limitados por fronteras políticas ni geográficas. Los satélites operacionales de teledetección se hallan en órbitas polares que les permiten sobrevolar y obtener imágenes de todas las regiones y países de la Tierra.
- **Formato digital.** Casi todas las imágenes procedentes de satélite se adquieren digitalmente. Por lo tanto, con una adecuada preparación las imágenes quedan listas para ser cargadas y utilizadas inmediatamente en un sistema de información geográfica (SIG), en un sistema de procesamiento digital de imágenes o en un sistema de dibujo asistido por computadora (CAD).
- **Cobertura frecuente.** Dado que los satélites se encuentran en órbitas estables, raramente tardarán más de un mes en adquirir imágenes de una misma zona de interés. Luego de realizado el pedido de una imagen por parte de un usuario, la adquisición de la misma se podrá efectuar al otro día, la siguiente semana o dentro de un mes como máximo, dependiendo del satélite considerado. Por lo tanto, en el mundo actual caracterizado por constantes cambios y transformaciones, donde contar con información actualizada es una necesidad básica para la toma de decisiones, las imágenes de satélite se constituyen en una herramienta indispensable.
- **Datos asequibles.** Al considerar grandes áreas, las imágenes de satélite resultan en la mayoría de los casos más económicas que las fotografías aéreas o los trabajos de campo con fines topográficos. El costo medio de una imagen de satélite sin procesar es muy inferior por km<sup>2</sup> cuando es comparado con los anteriores.
- **Visión sinóptica.** Las imágenes captadas por satélites de teledetección brindan una visión sinóptica en la cual los principales rasgos del terreno pueden ser rápidamente apreciados. Entre éstos se pueden mencionar elementos naturales y antrópicos como: las cuencas hídricas, los accidentes del relieve, la cobertura del suelo, y elementos antrópicos, tales como, obras de arte, ciudades, vías de comunicación, etc.

### **2.3. Datos estadísticos**

Aunque los datos de Teledetección y los cartográficos satisfacen la mayoría de las necesidades de datos espaciales, son fuentes relativamente limitadas para los datos alfanuméricos que necesitamos en un SIG. Algunos de estos atributos alfanuméricos pueden provenir de las leyendas de las imágenes clasificadas o de sus metadatos adjuntos. Sin embargo, en la generalidad de los casos se debe recurrir a otras fuentes de datos, tal como los archivos estadísticos, para poder adquirir datos alfanuméricos.

La gama de fuentes de datos estadísticos es bastante amplia, así como el tipo de datos producidos. Estos incluyen los resultados obtenidos en censos, estudios catastrales, encuestas, sistemas de registro y notificación, programas de control, estudios de observación y otros cuantos procedimientos de estimación menos formales. Los mismos proporcionan datos, tales como: cantidad de población, actividades socioeconómicas y nivel socioeconómico, uso del suelo, educación, salud, religión, condiciones medioambientales y una infinidad de otros fenómenos relevantes para un SIG.

Las fuentes estadísticas constituyen otra fuente de datos para los SIG y son fundamentales para muchas de sus aplicaciones. No obstante, también presentan sus problemas y limitaciones siendo, tal vez, su principal dificultad la falta de referenciación espacial.

### **2.4. Bases de datos**

Adquirir datos de fuentes analógicas (cartografías a diferentes escalas, fotografías aéreas o archivos estadísticos) es generalmente problemático, ya que para insertarlos dentro del ambiente de un SIG deben ser digitalizados y codificados. Estos procesos insuflan costos y demasiado tiempo. Sin embargo, al mismo tiempo que los SIG se expanden, la disponibilidad de datos digitales va en aumento, y resulta evidente que es más fácil y económicamente rentable importar datos en este último formato.

La gama de datos digitales disponibles para el usuario de un SIG se está ampliando en la mayoría de las escalas de aplicación. Los institutos nacionales de cartografía, como el Instituto Geográfico Militar (IGM) de nuestro país, han digitalizado series de cartografía topográfica e inclusive han ejecutado en los últimos años cartas imágenes en las cuales la información cartografiada es superpuesta sobre una imagen satelital.

Las agencias nacionales y provinciales relacionadas con los recursos naturales, tales como: suelo, geología, vegetación, recursos hídricos, clima, etc., también han construido bases de datos digitales, que cubren las áreas donde se producen los fenómenos sobre los que están interesados.

Ahora también se puede acceder a muchos datos estadísticos nacionales, tales como: estadísticas de censos, datos de ocupación, etc., todos estos en formato digital. Del mismo modo, a nivel internacional existe una amplia oferta de bases de datos y sistemas de información los cuales proporcionan datos topográficos, de suelos, vegetación, clima, usos del suelo, actividades económicas, etc.

Sin embargo, utilizar bases de datos existentes no significa que no existan problemas. De hecho, el costo o la confidencialidad de las mismas pueden limitar seriamente su uso. Además, debe tenerse siempre presente que en muchos casos los datos digitales no se encuentran actualizados.

No obstante, por encima de todos estos inconvenientes nombrados se encuentran los problemas de intercambio de datos de una base a otra. Estos son originados en las diferencias existentes en el hardware, software y el formato digital empleado para los datos en los diferentes SIG, lo cual provoca que no sea posible la transferencia directa de datos.

En síntesis, la consecuencia de emplear datos existentes en formato digital consiste en el ahorro de tiempo y dinero en la captación de los mismos, sin embargo, a cambio de esto se debe pagar con el incremento del tiempo dedicado a su edición y procesamiento. Por lo tanto, luego de efectuar el cálculo de los costos relativos, el empleo de datos digitales preexistentes puede no ser tan conveniente como se esperaba inicialmente.

## **2.5. Datos de campo**

Para muchas aplicaciones los datos existentes, tanto en formato digital como analógico, pueden no estar disponibles para la escala, período de tiempo o variable solicitada. Además, pueden ser de baja calidad, no contener los metadatos que indiquen acerca de su exactitud y origen o simplemente ser excesivamente costosos. Por lo tanto, en numerosas ocasiones puede ser necesario y apropiado obtener nuevos datos a través de su medición en campo.

El levantamiento de datos en campo puede implicar desde la realización de mediciones in situ, tales como: superficies de parcelas urbanas o rurales, mediciones topográficas, calidad del agua, contaminación del aire, humedad del suelo, etc., hasta la obtención de datos a través de esquemas de registro o encuestas. En cada uno de estos casos la principal ventaja es que se tiene el control sobre la forma en que se obtiene el dato, lo cual significa que se conoce la exactitud de los mismos, su resolución espacial, resolución temporal y formato.

Sin embargo, la obtención de datos de campo generalmente insume mucho tiempo y dinero. La misma puede implicar una considerable inversión en equipamiento y formación de recursos humanos. Además, se debe, por un lado, establecer una estrategia de muestreo con el objeto de reducir costos, y por otro, aplicar métodos o técnicas de levantamiento de datos que sean aceptados en el medio, porque de lo contrario se corre el riesgo de que los datos obtenidos no sean comparables con los conseguidos por otros usuarios u organizaciones reconocidas.

## **2.6. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)**

Uno de los factores que más ha influido en el mayor costo económico y de tiempo de los levantamientos de campo, es la dificultad de localizar exactamente los puntos de muestreo sobre el terreno. La solución más común consiste en llevar una cartografía o

una imagen de teledetección y marcar sobre la misma dichos puntos. Esto no resulta muy preciso y en el caso de emplear cartas topográficas, muchas veces las mismas están desactualizadas.

Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología satelital se ha encontrado una valiosa solución a este problema. La misma se conoce como Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System) o simplemente GPS. Este sistema esta basado en una red de satélites (Figura I.8) creados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El mismo proporciona un medio para calcular la localización de un punto cualquiera sobre la superficie terrestre. Algunas características de este sistema son:

- 24 satélites;
- 20.000 km de altura;
- 12 horas de período;
- Posicionamiento instantáneo;
- Todo clima, todo lugar;
- Distintas precisiones.

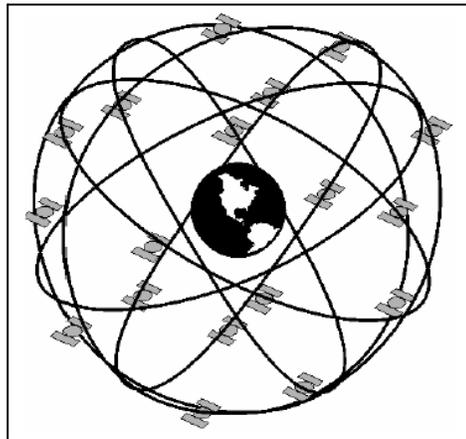


Figura I.8. Red de satélites del sistema GPS. Fuente: Del Cogliano y Perdomo, 2001.

Los principios de posicionamiento por un sistema GPS son:

- **Sistema de control.** Está constituido por un conjunto de estaciones permanentes con coordenadas bien conocidas en un sistema terrestre de referencia internacionalmente aceptado. Su misión es la de rastrear a todos los satélites para calcular sus órbitas (efemérides) y controlar sus relojes.
- **Sistema espacial.** Está constituido por la constelación de 24 satélites activos. Cada satélite lleva a bordo varios relojes atómicos para asegurar la exactitud de las marcas de tiempo y la estabilidad de la frecuencia de la señal emitida.
- **Usuarios.** Equipados con receptores de las señales satelitales reciben simultáneamente las componentes de la señal que sirven para medir la distancia receptor-satélite, y el mensaje de navegación principalmente

constituido por las efemérides que permiten calcular las coordenadas de los satélites.

A continuación, la Figura I.9 muestra los tres principales componentes del sistema GPS, los cuales son: el sistema de control, el sistema espacial y los usuarios.

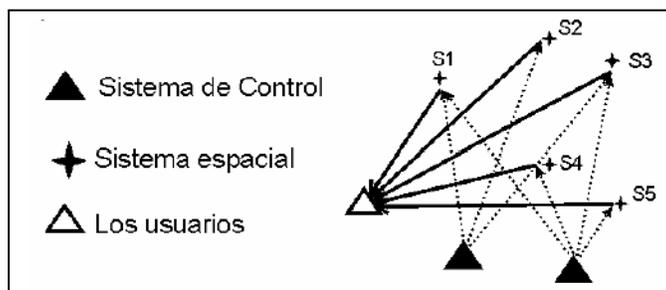


Figura I.9. Componentes del sistema GPS.

## 2.7. Modelos numéricos del terreno

El término Modelo Numérico del Terreno (MNT) se emplea para indicar la representación de una magnitud que varía continuamente en el espacio. Generalmente, están asociados a la altimetría del terreno, sin embargo, también pueden ser utilizados para modelar otras variables continuas, tales como, la temperatura, humedad del suelo, constitución de minerales o de las propiedades del suelo o subsuelo.

Entre los principales usos de los modelos numéricos del terreno, se pueden citar (Burrough, 1986):

- Almacenamiento de datos de altimetría para crear mapas topográficos;
- Análisis de corte y relleno para proyectos de caminos y terraplenes;
- Cálculo de mapas de pendiente como apoyo a análisis geomorfológicos;
- Análisis de variables geofísicas y geoquímicas;
- Representación tridimensional (en combinación con otras variables).

En los modelos digitales del terreno, la información referente a la topografía o a cualquier otro hecho tridimensional, se puede representar mediante tres tipos de modelos de datos diferentes. Las diferencias entre ellos residen en cuáles son los elementos de base utilizados: puntos, líneas o funciones matemáticas (Bosque, 1997).

- **Puntos.** En cada uno de los puntos se ha registrado su posición geométrica (mediante las coordenadas X e Y) y la altura de la topografía en ese lugar. Existen dos modalidades según los puntos estén dispuestos regularmente sobre el espacio (matriz de altitudes) o distribuidos de modo irregular (organización en red irregular de triángulos TIN).

- **Líneas.** En este caso se usa una línea (conjunto de segmentos rectos) para recoger la localización espacial y la altitud de los datos. Es posible emplear tanto las propias curvas de nivel (isolíneas de los puntos de igual altitud) tomadas de un mapa fuente, como las líneas estructurales del relieve, ríos, líneas de cumbres, máxima pendiente, etc.
- **Funciones matemáticas.** Las cuales establecen la relación entre las dos coordenadas espaciales y la variable altura, son válidas para trozos reducidos del terreno.

La adquisición de datos de una variable espacialmente continua produce generalmente un conjunto de valores puntuales. A partir de éstos se pueden construir dos tipos de representación:

- **Grilla regular.** Está constituida por una matriz de elementos con espacio fijo, donde se asocia el valor estimado de la variable a la posición geográfica de cada punto de la retícula. Las retículas regulares se obtienen por interpolación de las muestras.
- **Malla triangular.** La malla está formada por la conexión entre las muestras, utilizando la triangulación de Delaunay. La malla triangular es una estructura topológica vectorial del tipo arco-nodo, que forma un conjunto de recortes irregulares en el espacio (Figura I.10).

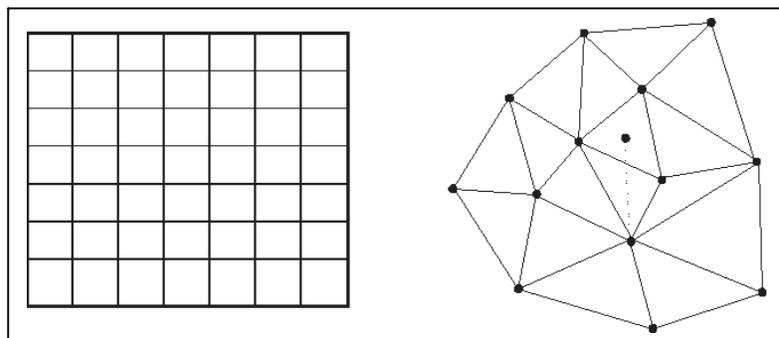


Figura I.10. Grilla regular (izq.) y malla triangular (der.). Fuente: SPRING 4.2, 2006.

Las mallas triangulares se prefieren para la representación de la altimetría del terreno, debido a que permiten capturar la complejidad del relieve sin necesidad de una gran cantidad de datos redundantes.

En el mismo sentido, las grillas regulares tienen gran redundancia en terrenos uniformes y dificultad de adaptación a relieves de diferente naturaleza a causa de la retícula de muestreo fijo.

Sin embargo, estas últimas son preferidas para la representación de variables geofísicas y para operaciones como visualización 3D, por la mayor facilidad de manipulación computacional.

La información sobre cuencas hidrográficas y redes de drenaje generalmente está disponible como información digitalizada a partir de mapas analógicos, fotografías aéreas o relevamientos de campo (proporcionado por fuentes gubernamentales o comerciales, o digitalizado por los usuarios a través de mapas analógicos), aunque puede también generarse a partir de los modelos digitales del terreno (incluyendo cálculo de subcuencas y redes de drenaje).

La información topográfica requerida, por ejemplo, para la modelación hidrológica distribuida en cuencas rurales (tales como pendientes, aspectos, longitudes de flujo, áreas de aporte, subcuencas y redes de drenaje), puede ser convenientemente extraída por procesos SIG a partir de modelos digitales del terreno.

A continuación, la Tabla I.2 resume las principales ventajas y desventajas de las grillas regulares y las mallas triangulares.

Tabla I.2 - Comparación entre grillas regulares y mallas triangulares

	<b>Malla triangular</b>	<b>Grilla regular</b>
<b>Ventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mejor representación de relieve complejo</li> <li>2. Incorpora restricciones como líneas de cresta</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Facilita el manejo y conversión</li> <li>2. Adecuada para geofísica y visualización 3D</li> </ol>
<b>Desventajas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Complejidad de manejo</li> <li>2. Inadecuada para visualización 3D</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Representación del relieve complejo</li> <li>2. Cálculo de pendiente</li> </ol>

Fuente: Ayuda SPRING 4.2, 2006.

### **3. Representación Digital y Modelización de Datos Geoespaciales**

La complejidad del mundo real es tal, que para la mayoría de las aplicaciones digitales es necesario construir modelos de la realidad más sofisticados que estén constituidos por diversos tipos de entidades y adoptando un enfoque por capas.

El proceso de modelización de datos puede ser resumido como una serie de etapas, desde el proceso de abstracción de la porción del mundo real hasta su representación informática.

La fase primera es aquella donde se identifican aquellas entidades espaciales del mundo real que interesan a nuestro propósito y se decide cómo se va a intentar representarlas en el modelo.

Existen ciertos problemas asociados con la simplificación del mundo real en cinco tipos de entidades espaciales (puntos, líneas, polígonos, superficies y redes), entre ellos, la naturaleza dinámica del mundo real, la escala cartográfica y la identificación de elementos discretos.

La fase segunda debe escoger uno de los dos modelos de datos espaciales, raster o vectorial, para visualizar, analizar y almacenar las representaciones de las entidades del mundo real.

La fase tercera es la fase más técnica, donde se indica como recrear digitalmente las entidades identificadas mediante la utilización del modelo de datos espaciales seleccionado en la fase segunda.

### 3.1. Modelo de datos vectorial

La aproximación vectorial es uno de los métodos alternativos para el almacenamiento y representación de los fenómenos espaciales. Los conjuntos de datos vectoriales, por contraste con los datos raster, son mucho más abstractos y están compuestos por puntos, líneas y polígonos.

El modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando, de modo explícito, sus fronteras, es decir el límite o perímetro que separa el objeto del entorno. Las líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman (Figura I.11).

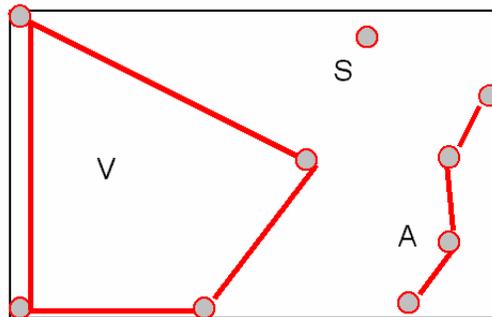


Figura I.11. Representación digital de datos en el modelo vectorial.

De este modo los objetos puntuales (dimensión topológica 0) se representan mediante un par de coordenadas X e Y de la posición del objeto.

Los objetos lineales (dimensión topológica 1) se aproximan mediante el trazado de segmentos lineales que se cruzan en vértices, y se representan mediante las coordenadas X e Y de esos vértices.

Así, los polígonos (dimensión topológica 2) se codifican aproximando sus fronteras mediante segmentos lineales que se cortan igualmente en vértices, y registrando las coordenadas de los mismos.

Con el sistema vectorial, se almacena la forma de las entidades en coordenadas geométricas precisas.

La representación de los fenómenos espaciales puede llevarse a cabo a partir de los métodos alternativos vectoriales, y como modelos tienen algunos puntos fuertes y débiles para describir las condiciones del mundo real.

Las ventajas del modelo vectorial son:

- Permite representar muy bien entidades lineales y puntuales.
- Información más compacta y menor espacio de almacenamiento.
- Geocodificación continua de coordenadas con valores reales. Codifica las fronteras de los objetos.
- Mantiene una gestión individualizada de las entidades geográficas, frente a la técnica raster que identifica la capa.
- Permite modificar fácilmente la escala y el grado de detalle para visualización de entidades.
- La topología está descrita explícitamente, respondiendo mejor sobre inclusión, contigüidad y conectividad.
- Ciertas operaciones de análisis espacial son sencillas y rápidas con la organización arco-nodo. Permite cálculos de distancias, superficie y volumen en forma precisa.
- Mayor precisión en la representación gráfica y más exhaustiva la información disponible. Las salidas impresas son similares a los mapas analógicos.

Los inconvenientes del modelo vectorial son:

- Captura costosa de datos, tiempo y dinero.
- Organización de datos compleja, cálculos largos y complicados.
- Muy laborioso para actualización de base de datos.
- La comparación entre mapas es más lenta que en raster.
- No permite representar de forma satisfactoria fotografías o paisajes.

### **3.2. Modelo de datos raster**

En el modelo raster, en lugar de codificar las fronteras de los objetos, se registra el interior y sus límites quedan implícitamente representados. Para realizar este tipo de codificación se supone una malla o rejilla de unidades regulares, de igual forma y tamaño, y en cada unidad de la rejilla se registra el valor de la entidad.

La representación raster se basa en una codificación discreta de las coordenadas, las posiciones de los objetos no se establecen con total exactitud y precisión, siempre se aproximan a una posición entera próxima (Figura I.12).

V				S	
V	V				A
V	V	V	V		A
V	V	V			A
V	V	V		A	

Figura I.12. Representación digital de datos en el modelo raster.

La rejilla puede estar formada por uno de los tres tipos de figuras geométricas elementales: cuadrados/rectángulos, triángulos regulares, o hexágonos.

Los más utilizados son los cuadrados/rectángulos y una cuestión crucial en el modelo raster es el tamaño de la unidad base de la rejilla, cuanto más pequeña sea más precisa será la representación digital del mapa. La longitud de los lados de la cuadrícula base o "píxel", en unidades de terreno, nos proporciona la escala del mapa raster generado.

En el modelo raster la topología del mapa está implícita en la regularidad de la rejilla, de esta manera se conoce con exactitud cuales son los vecinos de una celda o píxel de la rejilla. En el modelo raster se define la forma en términos de píxeles.

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.

El modelo raster tiene algunas potencialidades y debilidades respecto de temas genéricos como volumen de datos, consultas sobre topología, generalidad y cambios de escala, capacidad analítica, exactitud y precisión.

Las ventajas del modelo raster son:

- Facilidad de captura y de representación.
- Mismo formato que los obtenidos por percepción remota y scanner.
- Simple organización de los datos y algoritmos de tratamiento.
- Gran capacidad analítica, operaciones con matrices y sencillez en los procesos de comparación entre mapas temáticos.
- Facilidad en la generalización de polígonos.
- Útil para modelos digitales de elevación y aspectos naturales del territorio.
- Fácil intercambio de datos.

Los inconvenientes del modelo raster son:

- Ocupan mucho espacio en disco y en memoria para almacenar datos.
- Poco adecuada para representar entidades lineales.
- Geocodificación discreta de coordenada, aprox. una posición entera.
- Resolución limitada al tamaño del píxel.

- Menor calidad gráfica y exhaustividad de la representación.
- Topología solamente implícita a la posición de cada píxel en la malla.
- En general poca precisión para cálculos de superficie o distancias.
- Ineficaz para realizar análisis espaciales complejos o basados en múltiples atributos.

### 3.3. Aplicaciones

Los datos espaciales ofrecen información valiosa a miles de instituciones y empresas en cientos de sectores económicos de todo el mundo. Sería imposible enumerar todos los tipos de proyectos y mercados actuales en los que se utilizan imágenes y otras fuentes de datos geográficas, aunque es posible sintetizar algunas de las siguientes aplicaciones comunes:

- Cartografía de características
- Clasificación de la cubierta del terreno
- Clasificación en función del uso del suelo
- Detección de cambios
- Cartografía GPS
- Actualización de vectores cartográficos
- Modelización tridimensional

**Cartografía de características.** El uso más común de las imágenes de satélite y las fotografías aéreas es identificar, ubicar y cartografiar objetos y características del terreno. En los sistemas de información geográfica (SIG), este proceso cartográfico se define como poblar capas de datos. El tamaño de los objetos cartografiados depende solo de la resolución de las imágenes y estas se usan para cartografiar todo, desde las estructuras geológicas y las ubicaciones y las redes de autopistas hasta la ubicación de edificios y cocheras de autobuses. Los mapas se crean a partir de las imágenes con un costo menos significativo y en un período de tiempo mucho menor que lo que tardaría un equipo topográfico en realizar el mismo trabajo en campo. La cartografía de características la utilizan ampliamente cartógrafos, geólogos de exploración, planificadores de transportes, urbanistas e ingenieros de los servicios públicos.

**Clasificación de la cubierta del terreno.** Es un tipo de cartografía que se realiza muy bien con imágenes multispectrales y se puede llevar a cabo en un sistema sencillo de procesamiento de imágenes mediante funciones de clasificación. En este proceso la imagen se divide en áreas con ocupación del suelo común, tales como zonas arboladas, campo abierto, cultivos, agua y urbanizaciones. La clasificación puede afinarse mucho, diferenciando las parcelas agrícolas por el tipo de cultivo. Con bastante frecuencia, la imagen es codificada en color de forma que cada clase diferente de cubierta aparezca con el mismo color en toda la imagen. Hay que tener en cuenta que la clasificación rara vez agrupa píxeles de valores similares y no identifica tipos de cubiertas sin la información de verificación de datos de campo que proporciona el usuario. La función de “entrenamiento” o “adiestramiento” (training) es una variante del proceso de clasificación en el que el usuario determina con precisión en la imagen la ubicación conocida de un bosque o un campo de cultivos y el sistema de procesamiento de imágenes hallará otros bosques y cultivos. La cartografía de la cubierta terrestre es la aplicación más difundida en proyectistas de sistemas de

telecomunicación, silvicultores, agricultores, gestores de recursos naturales, ambientalistas, planificadores regionales y numerosos organismos oficiales.

**Clasificación en función del uso del suelo.** Se trata de otra versión de la cartografía de la cubierta del suelo. Utiliza las mismas técnicas de clasificación y entrenamiento para dividir la imagen en zonas de similar uso del suelo. Entre las clases más comunes cabe citar terrenos cultivables, urbanizaciones, instalaciones industriales, zonas comerciales y cascos urbanos. Las imágenes de alta resolución pueden subdividir aún más estas clases en función de la densidad de las casas y edificios. La cartografía del uso del suelo es útil para los mismos usuarios mencionados en la aplicación de la cobertura y ocupación del suelo, a los que hay que añadir ingenieros civiles, urbanistas, empresas constructoras y aseguradoras.

**Detección de cambios.** Es este otro proceso automatizado que está al alcance de cualquier sistema de tratamiento de imágenes. Requiere dos ó más imágenes de satélite de la misma región geográfica, captadas en momentos diferentes. Una vez rectificadas o combinadas las imágenes, el sistema compara los valores de los píxeles correspondientes en las dos ó más imágenes y determina qué valores son diferentes, indicando algún cambio en las características del suelo durante el tiempo transcurrido. Para su presentación visual, normalmente, la imagen del cambio destaca todas las zonas modificadas en un color brillante. Se necesita un examen manual de la imagen o visitar el terreno para determinar exactamente la naturaleza del cambio. Los ambientalistas utilizan este procedimiento para rastrear la deforestación. Los urbanistas y constructores lo aplican para determinar pautas de crecimiento en las ciudades.

**Cartografía GPS.** El sistema de posicionamiento geodésico satelital (GPS) se ha convertido en un método de levantamiento de mapas muy común y muchos topógrafos prefieren ahora volcar directamente sus puntos GPS sobre imágenes de satélite. Ello brinda una representación cartográfica vívida de lo que, de otro modo, sería una serie de puntos. El uso de la cartografía GPS se extiende cada vez más en exploraciones agrarias e ingeniería civil, especialmente en aplicaciones que exigen cartografiar coordenadas verticales y horizontales.

**Actualización de vectores cartográficos.** Las nuevas imágenes de satélite se consideran mapas ideales porque están muy actualizadas y muestran las características del suelo y sus relaciones geográficas en perspectivas fotográficas. Los programas informáticos de procesamiento de imagen y SIG les permiten a los usuarios superponer un mapa digitalizado a una imagen de satélite, con el fin de hallar inexactitudes en los mapas. Por ejemplo, en una imagen pueden verse nuevas carreteras y el programa le permite al usuario añadir manualmente al mapa nuevos vectores o íconos de características para reflejar tales cambios. Este procedimiento se está imponiendo en la industria cartográfica como una solución mucho más económica que enviar equipos topográficos para actualizar los mapas.

**Modelización tridimensional.** En un sistema de tratamiento de imágenes o en un SIG, es posible solapar una imagen de satélite sobre un modelo digital de elevación creando así una vista tridimensional del paisaje (Figura 1.22). Algunos programas cuentan con herramientas de visualización que le permiten al usuario elegir un punto dominante en la imagen o sobre ella y, a continuación, moverse a través de la escena 3D, viendo colinas, montañas y otros accidentes del terreno en una perspectiva muy

real. La modelización en 3D, especialmente si posee funciones de recorrido y sobrevuelo, exige un equipo informático muy potente con gran cantidad de memoria. Su uso es muy frecuente entre los ingenieros de montes, para planificación de cortes, pilotos militares para ensayar misiones, geólogos para estudios estructurales en profundidad, ingenieros civiles para planificar construcciones y muchos otros.



Figura I.13. Representación tridimensional del paisaje. Fuente: ESRI.

### 3.4. Calidad de los datos

La descripción de la calidad de los datos es muy importante, ya que es la información sobre los errores que le permite al usuario de cartografía, de imágenes de satélite o fotografías aéreas, bases de datos o sistemas de información geográfica, decidir si dichos datos les son útiles para su objetivo (García, 2000).

Los parámetros que pueden definir la fiabilidad del contenido de los datos son: exactitud, compleción, actualidad, coherencia o consistencia, genealogía (Gutiérrez y Gould, 1994).

La exactitud es el acercamiento de un dato al valor tomado como real, se debe considerar la exactitud geométrica o posicional, y la exactitud semántica o de nombres, códigos y atributos no numéricos.

La compleción describe el número de elementos presentes representados en relación con el número de elementos de la realidad, puede haber compleción por comisión o exceso, o bien por omisión o defecto.

La actualidad se describe por la fecha de los datos y por el porcentaje de variación estimada de entidades por año. La consistencia describe la coherencia interna de los datos y se expresa mediante el porcentaje de cumplimiento de las especificaciones consideradas relevantes. La genealogía se refiere al historial de los datos, la documentación, métodos y procedimientos utilizados.

En todas las etapas y procesos de implementación de SIG, la calidad de los datos necesita ser revisada, para evitar errores introducidos no sólo durante los procedimientos de entrada de los datos y errores en los datos originales, si no también en las instancias de manipulación y gestión, análisis y modelización, y finalmente presentación de resultados.

La calidad de datos en cartografía y sistemas de información geográfica está siendo estudiada por el Comité Técnico ISO/TC 211 Información Geográfica/Geomática. El objetivo de este comité es dar normas en el campo de la información geográfica digital, con el fin de establecer un conjunto estructurado de normas relativas a la información de los objetos o fenómenos que están directamente o indirectamente asociados a una posición en el terreno.

Estas normas se refieren a los métodos, herramientas y servicios para la gestión de los datos, procesamiento, análisis, acceso y transferencias de datos digitales entre diferentes usuarios y sistemas. Existen 25 proyectos de normas que están numeradas desde el 19101 al 19125. Específicamente la norma 19115 Información Geográfica/Metadatos, tiene por objetivo definir el esquema que se requiere para describir información geográfica.

Los metadatos incluyen información acerca de la precisión, contenido y atributos de los datos, fuentes de información. Un sistema de metadatos (información o descriptores de datos) tiene por objeto posibilitar que los usuarios de información geográfica puedan, de forma distribuida, localizar datos geográficos con sus características y el acceso a los mismos con distintos grados de valor añadido.

Hoy la calidad es un factor vital, por la demanda de los usuarios, que por orden de prioridad requieren (Armelia, 2000):

- 1- ¿Hay datos? ¿Con qué contenidos?**
- 2- ¿De qué fecha? ¿Con qué precisión?**
- 3- ¿Qué errores tienen? ¿Qué nivel de confianza tienen?**

### **Preguntas acerca de “Datos e Información Geográfica”**

- ¿Qué diferencia existe entre dato e información?
- ¿Qué se requiere para que un dato geográfico o información territorial tenga un valor preciso?
- ¿Cuál es el rol fundamental de la cartografía desde el punto de vista geométrico?
- ¿Qué elementos fundamentales permiten diferenciar el aporte de la fotografía aérea como fuente de datos, en contraposición con la información cartográfica?
- ¿Qué problemas plantean las fotografías aéreas oblicuas como base de datos para elaborar información cartográfica?
- ¿Qué utilidad presentan las reflectancias en el infrarrojo para elaborar información, con relación a la parte visible del espectro electromagnético?
- ¿En qué bandas del espectro electromagnético operan los satélites Landsat, Spot y el argentino Sac-c?
- Una consulta en la web puede aportar datos interesantes.
- ¿Qué significa el concepto de corrección geométrica o georreferenciación?
- ¿Por qué es necesario hacerlo con las imágenes?
- ¿Existen algunas limitaciones para elaborar información a partir de la teledetección? ¿Cuáles?
- ¿Por qué son necesarios los datos de campo?
- ¿Cuál es su principal limitación?
- ¿Qué es una base de datos?
- ¿Cómo se evalúa la calidad de los datos?
- ¿Qué diferencia existe entre un modelo vectorial y un modelo raster?